

Università degli studi di Pisa

Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Idraulica, dei Trasporti e del Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

"Analisi di Fattibilità del Nuovo Sistema Viario di Accesso alla Zona Nord-Est del Porto di Livorno"

Relatori: Prof. Ing. Antonio Pratelli

Prof. Ing. Marino Lupi

Candidato: David Zanobetti

Anno Accademico 2016 - 2017

Indice

1. Introduzione

La configurazione del porto di Livorno e la disposizione dei varchi di accesso all'area portuale hanno posto alcuni ostacoli alla operatività del porto stesso.

In particolare la mancanza di una viabilità interna al circuito doganale e, ad un livello superiore, allo spazio doganale, crea le condizioni per cui i transiti di merce debbano avvenire al di fuori dello spazio doganale e spesso al di fuori dell'ambito portuale. Tale situazione si presta ad una commistione crescente di correnti di traffico miste (urbano e industriale) in un zona sensibile dell'area portuale di Livorno, in particolare via Leonardo da Vinci.

L'obbiettivo principale del seguente studio è quello di migliorare il livello di servizio degli spostamenti e dei collegamenti nella zona Nord-Ovest del porto di Livorno, proponendo una nuova rete viaria che permetta di suddividere il traffico industriale da quello urbano e valorizzando anche le zone esterne al porto di Livorno che a oggi non sono servite a sufficienza dalla la rete suburbana.

Nel seguente lavoro, ricostruito il quadro della situazione attuale della rete infrastrutturale della zona Nord-Ovest del porto di Livorno, proporremo una nuova rete viaria di cui analizzeremo anche alcuni nodi più importanti.

Infine verranno tratte le varie conclusioni valutando i miglioramenti ottenuti attraverso la realizzazione della nuova rete viaria.

2. Inquadramento

2.1. Definizione della rete di interesse

La rete attuale interessa l'area retroportuale; è delimitata a nord dal canale scolmatore e dalla raffineria, a ovest dal porto, a sud dal centro abitato di Livorno, e a est dalla periferia di Livorno. Le strade facenti parte della rete (evidenziata in figura 1), sono di seguito elencate:

A - SGC FI-PI-LI

B - Via Leonardo da Vinci

C - Via Salvatore Orlando

D - Via Enrico Mattei

E - Via delle Cateratte

F - Via Genova

G - Via Firenze

H - Via Federigo Enriques

I - Via Nord

L - Via Pian di Rota

M - Connessione con la via Aurelia, A12, FI-PI-LI

I nodi di accesso/uscita della rete, facendo riferimento ai numeri riportati nella figura 1, sono:

1) FI-PI-LI (Est)

2) FI-PI-LI (Ovest)

3) Via L. da Vinci (porto)

5) Via Orlando

6) Via Mattei

7) Via delle Cateratte

9) Via Firenze (Sud)

10) Via Enriques

11) Via Nord

12) Via Pian di Rota

13) Connessione Aurelia

14) Via Firenze (Nord)

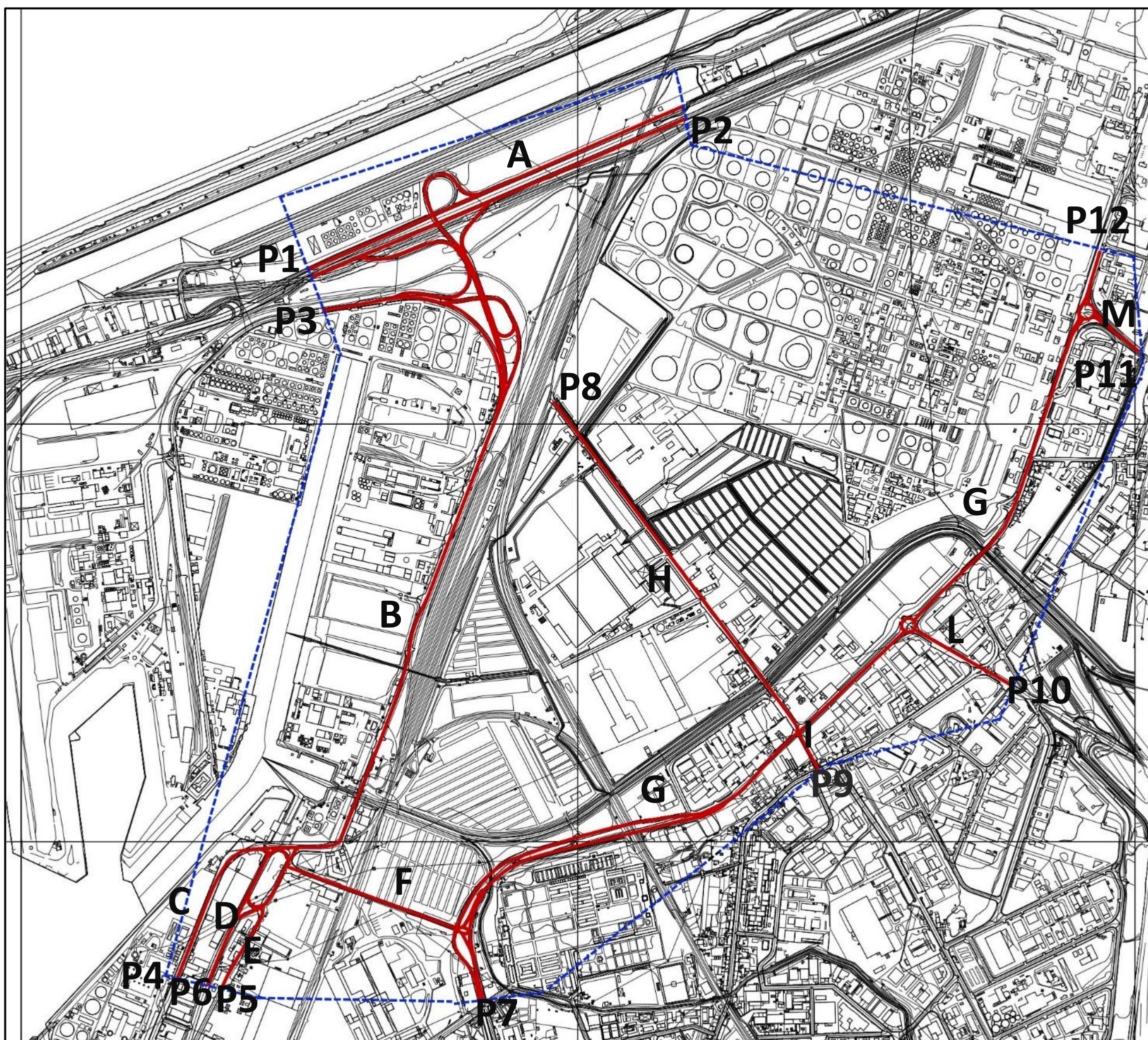


Figura 1: rete attuale

2.2. Analisi di traffico

2.2.1. Rilievo dei flussi di traffico

Per misurare i flussi di traffico è stato utilizzato in quasi tutte le postazioni un *Radar Recorder*, prodotto dall'inglese CA-Traffic Ltd. Questo strumento offre diversi vantaggi rispetto ai classici sistemi di misurazione, soprattutto per la sua facilità di utilizzo e di installazione.

L'apparecchio è costituito da un'antenna, che emette in maniera continua onde elettromagnetiche ad una frequenza (24.2GHz), un mixer, e un'unità per la registrazione e l'elaborazione dei dati. Il segnale è inviato in maniera continua nella direzione in cui l'antenna è puntata. Quando viene ricevuto il segnale riflesso dal veicolo, questo viene comparato con un campione del segnale inviato. La frequenza risultante da questa operazione costituisce il cosiddetto spostamento (o shift) Doppler, causato dalla velocità radiale del veicolo verso/da il radar. Lo shift Doppler è mediato fra diversi campioni e processato per ottenere la velocità del veicolo. Questa viene registrata insieme alla lunghezza del veicolo, ottenuta misurando il tempo di occupazione del campo elettromagnetico (il cono rosso in figura 2).

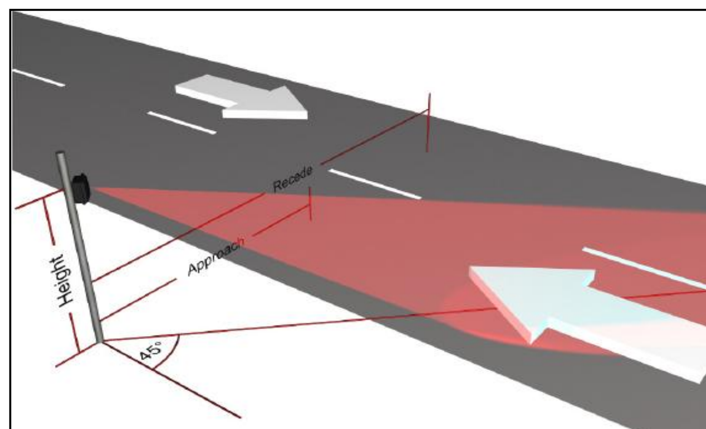


Figura 2: Radar Recorder

Il radar viene in genere messo in opera posizionandolo sui pali della segnaletica verticale (o comunque su qualunque supporto disponibile) a circa 2 metri dal suolo e con un’angolazione di 45° rispetto all’asse della strada.
La velocità di un veicolo che si avvicina viene misurata sfruttando l’effetto Doppler, e poiché l’avvicinamento verso il radar non avviene secondo una linea radiale, il valore della velocità così calcolato viene corretto automaticamente con un fattore corrispondente al coseno dell’angolo di 45° con il quale viene posto in esercizio rispetto all’asse della strada.
Una volta posizionato, il radar viene configurato con i dati relativi alle distanze della mezzeria relative alle due corsie, viene posizionata l’antenna con l’inclinazione indicata dal software di configurazione e viene lasciato registrare i dati.
Questi dati vengono poi opportunamente tarati ed elaborati tramite il software Vehicle Data Analyzer 2 e Microsoft Excel.
In alcune postazioni, a causa degli elevati volumi di traffico e la frequenza di code, i rilievi sono stati invece condotti manualmente, mediante operatore, solo nell’ora di punta del mattino (7:45 ÷ 8:45).
I veicoli rilevati sono stati suddivisi in tre classi, ovvero veicoli leggeri, veicoli pesanti e motocicli. Nella prima classe rientrano le autovetture e i piccoli furgoni dotati di asse posteriore non gemellato. Nella seconda classe rientrano tutti i mezzi pesanti (autotreni, autoarticolati, autobus) e i furgoni più pesanti (ovvero quelli dotati di asse posteriore gemellato). Nella terza classe rientrano tutti i veicoli a motore a due e tre ruote.

Di seguito sono riportati l'elenco e la dislocazione delle postazioni di misura (figura 3):

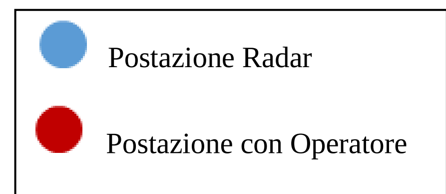
Rilievi mediante strumentazione RADAR

ID Sezione	Nome	Data Rilievo	Intervallo orario
01	Via Leonardo da Vinci	28/03/2017	00:00 ÷ 00:00
02	Via Genova	28/03/2017	00:00 ÷ 00:00
03	Via delle Cateratte	28/03/2017	00:00 ÷ 00:00
04	Viale Orlando	28/03/2017	00:00 ÷ 00:00
05	Connessione Aurelia	04/04/2017	00:00 ÷ 00:00
06	Via Firenze	04/04/2017	00:00 ÷ 00:00

Rilievi mediante operatore

ID Sezione	Nome	Data Rilievo	Intervallo orario
07	Via Enrico Mattei	10/04/2017	07:30 ÷ 09:00
08	Via Firenze Nord	11/04/2017	07:30 ÷ 09:00
09	Via Nord	12/04/2017	07:30 ÷ 09:00
10	Via Enriques	12/04/2017	07:30 ÷ 09:00
11	Via Firenze Sud	19/04/2017	07:30 ÷ 09:00
12	Via Pian di Rota	20/04/2017	07:30 ÷ 09:00
13	Via L. da Vinci (zona porto)	21/04/2017	07:30 ÷ 09:00
14	FI-PI-LI (lato Ovest)	26/04/2017	07:30 ÷ 09:00
15	FI-PI-LI (lato Est)	28/04/2017	07:30 ÷ 09:00

Figura 3: dislocazione delle postazioni di misura



Di seguito sono riportati i risultati dei rilievi di traffico ottenuti mediante rilevazione con radar:

		Sezione 01
Via LEONARDO DA VINCI		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'21.18" N	10°19'12.15" E
Data rilievo	28-29 marzo 2017	
Periodo orario rilievo	00:00 ÷ 00:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via L. da Vinci - DIREZIONE NORD														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	3	20	1	24	08.00-08.15	14	98	40	152	16.00-16.15	10	76	39	125
00.15-00.30	1	14	0	15	08.15-08.30	11	131	29	171	16.15-16.30	8	66	46	120
00.30-00.45	1	13	0	14	08.30-08.45	11	95	43	149	16.30-16.45	9	70	37	116
00.45-01.00	2	14	1	17	08.45-09.00	17	79	46	142	16.45-17.00	12	55	41	108
01.00-01.15	2	28	0	30	09.00-09.15	12	83	46	141	17.00-17.15	8	85	35	128
01.15-01.30	1	16	1	18	09.15-09.30	5	59	46	110	17.15-17.30	10	72	39	121
01.30-01.45	0	6	1	7	09.30-09.45	9	69	36	114	17.30-17.45	17	75	33	125
01.45-02.00	0	7	0	7	09.45-10.00	6	81	38	125	17.45-18.00	6	73	20	99
02.00-02.15	1	4	0	5	10.00-10.15	1	64	34	99	18.00-18.15	13	92	19	124
02.15-02.30	0	5	0	5	10.15-10.30	7	60	33	100	18.15-18.30	14	76	23	113
02.30-02.45	0	1	0	1	10.30-10.45	4	61	43	108	18.30-18.45	11	73	21	105
02.45-03.00	0	3	1	4	10.45-11.00	9	54	43	106	18.45-19.00	15	96	23	134
03.00-03.15	0	1	1	2	11.00-11.15	8	50	38	96	19.00-19.15	17	72	17	106
03.15-03.30	0	4	1	5	11.15-11.30	10	68	39	117	19.15-19.30	13	73	8	94
03.30-03.45	1	0	0	1	11.30-11.45	8	80	49	137	19.30-19.45	12	48	13	73
03.45-04.00	0	2	2	4	11.45-12.00	6	59	43	108	19.45-20.00	14	61	5	80
04.00-04.15	1	2	3	6	12.00-12.15	15	77	46	138	20.00-20.15	10	56	10	76
04.15-04.30	1	6	3	10	12.15-12.30	14	54	24	92	20.15-20.30	9	39	6	54
04.30-04.45	0	4	2	6	12.30-12.45	12	58	23	93	20.30-20.45	0	20	6	26
04.45-05.00	2	9	10	21	12.45-13.00	19	84	14	117	20.45-21.00	3	30	2	35
05.00-05.15	0	16	1	17	13.00-13.15	14	88	17	119	21.00-21.15	5	19	5	29
05.15-05.30	1	27	6	34	13.15-13.30	20	90	21	131	21.15-21.30	5	27	0	32
05.30-05.45	6	43	9	58	13.30-13.45	17	77	16	110	21.30-21.45	6	32	2	40
05.45-06.00	4	36	8	48	13.45-14.00	14	76	21	111	21.45-22.00	2	27	5	34
06.00-06.15	5	25	7	37	14.00-14.15	13	88	25	126	22.00-22.15	4	15	2	21
06.15-06.30	3	43	9	55	14.15-14.30	11	90	37	138	22.15-22.30	2	26	0	28
06.30-06.45	10	74	24	108	14.30-14.45	13	63	46	122	22.30-22.45	0	16	1	17
06.45-07.00	13	128	32	173	14.45-15.00	12	74	43	129	22.45-23.00	3	16	1	20
07.00-07.15	13	115	46	174	15.00-15.15	10	62	50	122	23.00-23.15	2	15	0	17
07.15-07.30	12	97	38	147	15.15-15.30	8	73	35	116	23.15-23.30	1	14	1	16
07.30-07.45	16	147	50	213	15.30-15.45	8	67	40	115	23.30-23.45	1	19	2	22
07.45-08.00	21	99	29	149	15.45-16.00	9	69	37	115	23.45-00.00	3	19	1	23

Via L. da Vinci - DIREZIONE SUD														
Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	Pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali
00.00-00.15	9	44	0	53	08.00-08.15	18	131	23	172	16.00-16.15	30	122	31	183
00.15-00.30	5	18	0	23	08.15-08.30	17	145	22	184	16.15-16.30	31	79	30	140
00.30-00.45	2	10	0	12	08.30-08.45	21	140	30	191	16.30-16.45	27	121	32	180
00.45-01.00	3	11	0	14	08.45-09.00	10	137	33	180	16.45-17.00	27	120	32	179
01.00-01.15	0	13	1	14	09.00-09.15	16	92	17	125	17.00-17.15	37	146	35	218
01.15-01.30	3	10	0	13	09.15-09.30	13	95	27	135	17.15-17.30	54	128	24	206
01.30-01.45	4	21	3	28	09.30-09.45	15	105	23	143	17.30-17.45	28	146	26	200
01.45-02.00	3	10	0	13	09.45-10.00	16	59	25	100	17.45-18.00	30	155	30	215
02.00-02.15	1	5	0	6	10.00-10.15	20	124	33	177	18.00-18.15	36	167	25	228
02.15-02.30	1	3	0	4	10.15-10.30	16	108	30	154	18.15-18.30	43	146	17	206
02.30-02.45	1	5	0	6	10.30-10.45	17	103	29	149	18.30-18.45	29	146	13	188
02.45-03.00	0	1	1	2	10.45-11.00	8	55	23	86	18.45-19.00	19	121	11	151
03.00-03.15	0	2	0	2	11.00-11.15	20	113	37	170	19.00-19.15	33	137	13	183
03.15-03.30	0	1	0	1	11.15-11.30	17	74	26	117	19.15-19.30	31	101	11	143
03.30-03.45	0	4	0	4	11.30-11.45	17	79	35	131	19.30-19.45	33	125	16	174
03.45-04.00	0	3	0	3	11.45-12.00	16	105	28	149	19.45-20.00	18	104	5	127
04.00-04.15	0	3	0	3	12.00-12.15	28	100	32	160	20.00-20.15	13	93	6	112
04.15-04.30	0	7	1	8	12.15-12.30	23	124	31	178	20.15-20.30	15	88	6	109
04.30-04.45	2	10	2	14	12.30-12.45	30	112	38	180	20.30-20.45	9	69	6	84
04.45-05.00	0	5	1	6	12.45-13.00	19	95	22	136	20.45-21.00	4	47	2	53
05.00-05.15	1	4	1	6	13.00-13.15	25	78	20	123	21.00-21.15	4	32	3	39
05.15-05.30	2	22	1	25	13.15-13.30	29	99	15	143	21.15-21.30	1	36	4	41
05.30-05.45	3	17	1	21	13.30-13.45	29	84	12	125	21.30-21.45	1	36	0	37
05.45-06.00	4	36	2	42	13.45-14.00	24	78	25	127	21.45-22.00	6	24	0	30
06.00-06.15	4	34	1	39	14.00-14.15	19	90	25	134	22.00-22.15	9	55	1	65
06.15-06.30	4	37	4	45	14.15-14.30	24	92	24	140	22.15-22.30	3	37	0	40
06.30-06.45	5	37	5	47	14.30-14.45	20	107	28	155	22.30-22.45	2	24	0	26
06.45-07.00	7	51	6	64	14.45-15.00	25	97	32	154	22.45-23.00	9	30	1	40
07.00-07.15	10	49	15	74	15.00-15.15	15	126	26	167	23.00-23.15	2	21	1	24
07.15-07.30	16	92	12	120	15.15-15.30	14	96	38	148	23.15-23.30	5	24	0	29
07.30-07.45	20	108	10	138	15.30-15.45	20	89	31	140	23.30-23.45	0	16	1	17
07.45-08.00	22	167	32	221	15.45-16.00	17	120	35	172	23.45-00.00	2	22	0	24

		Sezione 02
Via GENOVA		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	XX N	XX E
Data rilievo	28-29 marzo 2017	
Periodo orario rilievo	00:00 ÷ 00:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Genova - DIREZIONE EST														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	n.d.	18	0	18	08.00-08.15	n.d.	123	25	148	16.00-16.15	n.d.	84	15	99
00.15-00.30	n.d.	14	1	15	08.15-08.30	n.d.	168	24	192	16.15-16.30	n.d.	71	15	86
00.30-00.45	n.d.	6	1	7	08.30-08.45	n.d.	162	21	183	16.30-16.45	n.d.	82	11	93
00.45-01.00	n.d.	10	0	10	08.45-09.00	n.d.	154	19	173	16.45-17.00	n.d.	90	15	105
01.00-01.15	n.d.	15	1	16	09.00-09.15	n.d.	120	21	141	17.00-17.15	n.d.	84	18	102
01.15-01.30	n.d.	10	1	11	09.15-09.30	n.d.	100	21	121	17.15-17.30	n.d.	101	19	120
01.30-01.45	n.d.	3	0	3	09.30-09.45	n.d.	87	17	104	17.30-17.45	n.d.	90	12	102
01.45-02.00	n.d.	3	0	3	09.45-10.00	n.d.	93	15	108	17.45-18.00	n.d.	81	17	98
02.00-02.15	n.d.	2	0	2	10.00-10.15	n.d.	84	16	100	18.00-18.15	n.d.	88	13	101
02.15-02.30	n.d.	3	0	3	10.15-10.30	n.d.	76	8	84	18.15-18.30	n.d.	101	10	111
02.30-02.45	n.d.	2	0	2	10.30-10.45	n.d.	77	14	91	18.30-18.45	n.d.	90	12	102
02.45-03.00	n.d.	3	0	3	10.45-11.00	n.d.	89	14	103	18.45-19.00	n.d.	75	8	83
03.00-03.15	n.d.	2	0	2	11.00-11.15	n.d.	77	13	90	19.00-19.15	n.d.	86	7	93
03.15-03.30	n.d.	6	1	7	11.15-11.30	n.d.	67	23	90	19.15-19.30	n.d.	80	4	84
03.30-03.45	n.d.	3	0	3	11.30-11.45	n.d.	81	21	102	19.30-19.45	n.d.	75	12	87
03.45-04.00	n.d.	7	0	7	11.45-12.00	n.d.	69	10	79	19.45-20.00	n.d.	71	8	79
04.00-04.15	n.d.	4	0	4	12.00-12.15	n.d.	80	12	92	20.00-20.15	n.d.	43	6	49
04.15-04.30	n.d.	8	0	8	12.15-12.30	n.d.	72	10	82	20.15-20.30	n.d.	41	4	45
04.30-04.45	n.d.	6	1	7	12.30-12.45	n.d.	79	7	86	20.30-20.45	n.d.	37	4	41
04.45-05.00	n.d.	12	8	20	12.45-13.00	n.d.	81	12	93	20.45-21.00	n.d.	24	4	28
05.00-05.15	n.d.	8	0	8	13.00-13.15	n.d.	88	17	105	21.00-21.15	n.d.	26	4	30
05.15-05.30	n.d.	22	2	24	13.15-13.30	n.d.	91	17	108	21.15-21.30	n.d.	37	1	38
05.30-05.45	n.d.	43	5	48	13.30-13.45	n.d.	92	17	109	21.30-21.45	n.d.	43	4	47
05.45-06.00	n.d.	36	3	39	13.45-14.00	n.d.	129	16	145	21.45-22.00	n.d.	36	2	38
06.00-06.15	n.d.	22	5	27	14.00-14.15	n.d.	109	11	120	22.00-22.15	n.d.	32	1	33
06.15-06.30	n.d.	38	3	41	14.15-14.30	n.d.	113	14	127	22.15-22.30	n.d.	21	2	23
06.30-06.45	n.d.	52	4	56	14.30-14.45	n.d.	98	9	107	22.30-22.45	n.d.	24	0	24
06.45-07.00	n.d.	63	14	77	14.45-15.00	n.d.	90	22	112	22.45-23.00	n.d.	27	4	31
07.00-07.15	n.d.	73	13	86	15.00-15.15	n.d.	79	13	92	23.00-23.15	n.d.	13	1	14
07.15-07.30	n.d.	76	21	97	15.15-15.30	n.d.	84	17	101	23.15-23.30	n.d.	28	0	28
07.30-07.45	n.d.	104	33	137	15.30-15.45	n.d.	88	20	108	23.30-23.45	n.d.	23	0	23
07.45-08.00	n.d.	125	24	149	15.45-16.00	n.d.	84	17	101	23.45-00.00	n.d.	23	1	24

Via Genova - DIREZIONE OVEST														
Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	Pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali
00.00-00.15	n.d.	20	0	20	08.00-08.15	n.d.	47	0	47	16.00-16.15	n.d.	53	12	65
00.15-00.30	n.d.	9	0	9	08.15-08.30	n.d.	70	5	75	16.15-16.30	n.d.	56	10	66
00.30-00.45	n.d.	8	0	8	08.30-08.45	n.d.	66	7	73	16.30-16.45	n.d.	73	10	83
00.45-01.00	n.d.	4	0	4	08.45-09.00	n.d.	56	5	61	16.45-17.00	n.d.	28	4	32
01.00-01.15	n.d.	4	0	4	09.00-09.15	n.d.	55	12	67	17.00-17.15	n.d.	29	6	35
01.15-01.30	n.d.	7	1	8	09.15-09.30	n.d.	46	7	53	17.15-17.30	n.d.	52	6	58
01.30-01.45	n.d.	6	1	7	09.30-09.45	n.d.	52	9	61	17.30-17.45	n.d.	88	11	99
01.45-02.00	n.d.	4	0	4	09.45-10.00	n.d.	39	8	47	17.45-18.00	n.d.	83	6	89
02.00-02.15	n.d.	1	0	1	10.00-10.15	n.d.	56	4	60	18.00-18.15	n.d.	84	8	92
02.15-02.30	n.d.	0	0	0	10.15-10.30	n.d.	63	6	69	18.15-18.30	n.d.	70	8	78
02.30-02.45	n.d.	2	0	2	10.30-10.45	n.d.	50	7	57	18.30-18.45	n.d.	70	1	71
02.45-03.00	n.d.	5	1	6	10.45-11.00	n.d.	55	7	62	18.45-19.00	n.d.	62	10	72
03.00-03.15	n.d.	1	0	1	11.00-11.15	n.d.	51	7	58	19.00-19.15	n.d.	54	1	55
03.15-03.30	n.d.	2	0	2	11.15-11.30	n.d.	45	5	50	19.15-19.30	n.d.	45	5	50
03.30-03.45	n.d.	1	0	1	11.30-11.45	n.d.	42	10	52	19.30-19.45	n.d.	53	4	57
03.45-04.00	n.d.	3	0	3	11.45-12.00	n.d.	54	11	65	19.45-20.00	n.d.	48	5	53
04.00-04.15	n.d.	4	1	5	12.00-12.15	n.d.	63	5	68	20.00-20.15	n.d.	54	1	55
04.15-04.30	n.d.	3	1	4	12.15-12.30	n.d.	63	7	70	20.15-20.30	n.d.	32	1	33
04.30-04.45	n.d.	5	1	6	12.30-12.45	n.d.	86	8	94	20.30-20.45	n.d.	20	1	21
04.45-05.00	n.d.	3	0	3	12.45-13.00	n.d.	59	4	63	20.45-21.00	n.d.	20	2	22
05.00-05.15	n.d.	7	2	9	13.00-13.15	n.d.	39	3	42	21.00-21.15	n.d.	18	0	18
05.15-05.30	n.d.	10	0	10	13.15-13.30	n.d.	47	2	49	21.15-21.30	n.d.	13	1	14
05.30-05.45	n.d.	16	0	16	13.30-13.45	n.d.	46	2	48	21.30-21.45	n.d.	14	0	14
05.45-06.00	n.d.	12	2	14	13.45-14.00	n.d.	37	1	38	21.45-22.00	n.d.	15	0	15
06.00-06.15	n.d.	18	1	19	14.00-14.15	n.d.	47	5	52	22.00-22.15	n.d.	20	1	21
06.15-06.30	n.d.	19	3	22	14.15-14.30	n.d.	43	11	54	22.15-22.30	n.d.	21	0	21
06.30-06.45	n.d.	32	8	40	14.30-14.45	n.d.	44	6	50	22.30-22.45	n.d.	15	0	15
06.45-07.00	n.d.	44	4	48	14.45-15.00	n.d.	49	8	57	22.45-23.00	n.d.	13	0	13
07.00-07.15	n.d.	34	8	42	15.00-15.15	n.d.	55	11	66	23.00-23.15	n.d.	11	0	11
07.15-07.30	n.d.	36	4	40	15.15-15.30	n.d.	45	11	56	23.15-23.30	n.d.	11	0	11
07.30-07.45	n.d.	52	2	54	15.30-15.45	n.d.	52	11	63	23.30-23.45	n.d.	7	0	7
07.45-08.00	n.d.	59	5	64	15.45-16.00	n.d.	56	11	67	23.45-00.00	n.d.	11	2	13

		Sezione 03
Via delle CATERATTE		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'2.52" N	10°18'49.71" E
Data rilievo	28-29 marzo 2017	
Periodo orario rilievo	00:00 ÷ 00:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via delle Cateratte - DIREZIONE SUD														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	n.d.	0	0	0	08.00-08.15	n.d.	14	1	15	16.00-16.15	n.d.	6	2	8
00.15-00.30	n.d.	0	0	0	08.15-08.30	n.d.	34	3	37	16.15-16.30	n.d.	21	2	23
00.30-00.45	n.d.	0	0	0	08.30-08.45	n.d.	17	1	18	16.30-16.45	n.d.	12	0	12
00.45-01.00	n.d.	0	0	0	08.45-09.00	n.d.	26	1	27	16.45-17.00	n.d.	14	2	16
01.00-01.15	n.d.	0	0	0	09.00-09.15	n.d.	14	2	16	17.00-17.15	n.d.	17	0	17
01.15-01.30	n.d.	0	0	0	09.15-09.30	n.d.	16	2	18	17.15-17.30	n.d.	22	1	23
01.30-01.45	n.d.	0	0	0	09.30-09.45	n.d.	12	1	13	17.30-17.45	n.d.	11	0	11
01.45-02.00	n.d.	0	0	0	09.45-10.00	n.d.	13	4	17	17.45-18.00	n.d.	15	0	15
02.00-02.15	n.d.	0	0	0	10.00-10.15	n.d.	9	0	9	18.00-18.15	n.d.	27	1	28
02.15-02.30	n.d.	0	0	0	10.15-10.30	n.d.	10	0	10	18.15-18.30	n.d.	10	0	10
02.30-02.45	n.d.	0	0	0	10.30-10.45	n.d.	12	1	13	18.30-18.45	n.d.	17	0	17
02.45-03.00	n.d.	0	0	0	10.45-11.00	n.d.	5	0	5	18.45-19.00	n.d.	12	1	13
03.00-03.15	n.d.	0	0	0	11.00-11.15	n.d.	7	2	9	19.00-19.15	n.d.	10	0	10
03.15-03.30	n.d.	0	0	0	11.15-11.30	n.d.	8	1	9	19.15-19.30	n.d.	9	0	9
03.30-03.45	n.d.	0	0	0	11.30-11.45	n.d.	6	1	7	19.30-19.45	n.d.	7	0	7
03.45-04.00	n.d.	0	0	0	11.45-12.00	n.d.	11	0	11	19.45-20.00	n.d.	2	1	3
04.00-04.15	n.d.	0	0	0	12.00-12.15	n.d.	30	5	35	20.00-20.15	n.d.	4	0	4
04.15-04.30	n.d.	1	0	1	12.15-12.30	n.d.	10	2	12	20.15-20.30	n.d.	5	0	5
04.30-04.45	n.d.	1	0	1	12.30-12.45	n.d.	14	3	17	20.30-20.45	n.d.	0	0	0
04.45-05.00	n.d.	2	0	2	12.45-13.00	n.d.	7	0	7	20.45-21.00	n.d.	1	1	2
05.00-05.15	n.d.	1	0	1	13.00-13.15	n.d.	11	6	17	21.00-21.15	n.d.	0	0	0
05.15-05.30	n.d.	0	0	0	13.15-13.30	n.d.	13	1	14	21.15-21.30	n.d.	1	0	1
05.30-05.45	n.d.	3	0	3	13.30-13.45	n.d.	4	2	6	21.30-21.45	n.d.	0	0	0
05.45-06.00	n.d.	0	0	0	13.45-14.00	n.d.	5	2	7	21.45-22.00	n.d.	2	0	2
06.00-06.15	n.d.	0	0	0	14.00-14.15	n.d.	7	1	8	22.00-22.15	n.d.	1	0	1
06.15-06.30	n.d.	2	0	2	14.15-14.30	n.d.	14	2	16	22.15-22.30	n.d.	0	0	0
06.30-06.45	n.d.	3	0	3	14.30-14.45	n.d.	15	2	17	22.30-22.45	n.d.	0	0	0
06.45-07.00	n.d.	6	1	7	14.45-15.00	n.d.	19	2	21	22.45-23.00	n.d.	1	0	1
07.00-07.15	n.d.	2	0	2	15.00-15.15	n.d.	16	1	17	23.00-23.15	n.d.	0	0	0
07.15-07.30	n.d.	5	0	5	15.15-15.30	n.d.	17	1	18	23.15-23.30	n.d.	1	0	1
07.30-07.45	n.d.	9	2	11	15.30-15.45	n.d.	14	4	18	23.30-23.45	n.d.	1	0	1
07.45-08.00	n.d.	11	5	16	15.45-16.00	n.d.	15	1	16	23.45-00.00	n.d.	0	1	1

Via delle Cateratte - DIREZIONE NORD														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	n.d.	3	0	3	08.00-08.15	n.d.	61	1	62	16.00-16.15	n.d.	32	2	34
00.15-00.30	n.d.	1	0	1	08.15-08.30	n.d.	56	0	56	16.15-16.30	n.d.	45	3	48
00.30-00.45	n.d.	3	0	3	08.30-08.45	n.d.	59	2	61	16.30-16.45	n.d.	46	2	48
00.45-01.00	n.d.	1	0	1	08.45-09.00	n.d.	47	3	50	16.45-17.00	n.d.	49	5	54
01.00-01.15	n.d.	6	0	6	09.00-09.15	n.d.	46	2	48	17.00-17.15	n.d.	45	0	45
01.15-01.30	n.d.	2	0	2	09.15-09.30	n.d.	33	1	34	17.15-17.30	n.d.	44	2	46
01.30-01.45	n.d.	0	0	0	09.30-09.45	n.d.	45	0	45	17.30-17.45	n.d.	46	2	48
01.45-02.00	n.d.	0	0	0	09.45-10.00	n.d.	46	3	49	17.45-18.00	n.d.	43	2	45
02.00-02.15	n.d.	0	0	0	10.00-10.15	n.d.	31	3	34	18.00-18.15	n.d.	49	3	52
02.15-02.30	n.d.	1	0	1	10.15-10.30	n.d.	41	4	45	18.15-18.30	n.d.	52	0	52
02.30-02.45	n.d.	0	0	0	10.30-10.45	n.d.	37	0	37	18.30-18.45	n.d.	65	2	67
02.45-03.00	n.d.	1	1	2	10.45-11.00	n.d.	48	0	48	18.45-19.00	n.d.	56	0	56
03.00-03.15	n.d.	1	0	1	11.00-11.15	n.d.	42	2	44	19.00-19.15	n.d.	40	2	42
03.15-03.30	n.d.	1	0	1	11.15-11.30	n.d.	29	5	34	19.15-19.30	n.d.	35	0	35
03.30-03.45	n.d.	0	0	0	11.30-11.45	n.d.	35	1	36	19.30-19.45	n.d.	24	0	24
03.45-04.00	n.d.	1	0	1	11.45-12.00	n.d.	42	3	45	19.45-20.00	n.d.	29	0	29
04.00-04.15	n.d.	3	0	3	12.00-12.15	n.d.	44	2	46	20.00-20.15	n.d.	25	3	28
04.15-04.30	n.d.	8	0	8	12.15-12.30	n.d.	46	3	49	20.15-20.30	n.d.	25	0	25
04.30-04.45	n.d.	5	0	5	12.30-12.45	n.d.	57	0	57	20.30-20.45	n.d.	20	1	21
04.45-05.00	n.d.	3	0	3	12.45-13.00	n.d.	61	1	62	20.45-21.00	n.d.	10	0	10
05.00-05.15	n.d.	4	0	4	13.00-13.15	n.d.	43	1	44	21.00-21.15	n.d.	9	0	9
05.15-05.30	n.d.	10	1	11	13.15-13.30	n.d.	34	0	34	21.15-21.30	n.d.	13	0	13
05.30-05.45	n.d.	16	0	16	13.30-13.45	n.d.	37	1	38	21.30-21.45	n.d.	14	0	14
05.45-06.00	n.d.	13	0	13	13.45-14.00	n.d.	46	4	50	21.45-22.00	n.d.	9	0	9
06.00-06.15	n.d.	17	0	17	14.00-14.15	n.d.	43	6	49	22.00-22.15	n.d.	4	0	4
06.15-06.30	n.d.	16	0	16	14.15-14.30	n.d.	45	3	48	22.15-22.30	n.d.	4	0	4
06.30-06.45	n.d.	38	1	39	14.30-14.45	n.d.	38	1	39	22.30-22.45	n.d.	5	0	5
06.45-07.00	n.d.	55	2	57	14.45-15.00	n.d.	40	1	41	22.45-23.00	n.d.	2	0	2
07.00-07.15	n.d.	42	3	45	15.00-15.15	n.d.	35	2	37	23.00-23.15	n.d.	5	0	5
07.15-07.30	n.d.	48	1	49	15.15-15.30	n.d.	39	0	39	23.15-23.30	n.d.	6	0	6
07.30-07.45	n.d.	59	3	62	15.30-15.45	n.d.	37	1	38	23.30-23.45	n.d.	3	0	3
07.45-08.00	n.d.	73	1	74	15.45-16.00	n.d.	33	2	35	23.45-00.00	n.d.	7	0	7

		Sezione 04
Viale ORLANDO		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'2.13" N	10°18'43.59" E
Data rilievo	28-29 marzo 2017	
Periodo orario rilievo	00:00 ÷ 00:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Orlando - DIREZIONE SUD														
Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	Pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali
00.00-00.15	n.d.	10	5	15	08.00-08.15	n.d.	88	20	108	16.00-16.15	n.d.	56	15	71
00.15-00.30	n.d.	15	3	18	08.15-08.30	n.d.	79	22	101	16.15-16.30	n.d.	50	13	63
00.30-00.45	n.d.	5	0	5	08.30-08.45	n.d.	96	27	123	16.30-16.45	n.d.	49	16	65
00.45-01.00	n.d.	7	1	8	08.45-09.00	n.d.	90	19	109	16.45-17.00	n.d.	69	11	80
01.00-01.15	n.d.	10	1	11	09.00-09.15	n.d.	63	13	76	17.00-17.15	n.d.	64	19	83
01.15-01.30	n.d.	8	1	9	09.15-09.30	n.d.	56	24	80	17.15-17.30	n.d.	73	15	88
01.30-01.45	n.d.	10	1	11	09.30-09.45	n.d.	59	19	78	17.30-17.45	n.d.	71	10	81
01.45-02.00	n.d.	5	2	7	09.45-10.00	n.d.	33	15	48	17.45-18.00	n.d.	85	25	110
02.00-02.15	n.d.	2	0	2	10.00-10.15	n.d.	57	27	84	18.00-18.15	n.d.	101	10	111
02.15-02.30	n.d.	1	0	1	10.15-10.30	n.d.	64	16	80	18.15-18.30	n.d.	80	9	89
02.30-02.45	n.d.	1	0	1	10.30-10.45	n.d.	48	25	73	18.30-18.45	n.d.	84	10	94
02.45-03.00	n.d.	1	0	1	10.45-11.00	n.d.	36	14	50	18.45-19.00	n.d.	73	9	82
03.00-03.15	n.d.	0	0	0	11.00-11.15	n.d.	57	14	71	19.00-19.15	n.d.	61	11	72
03.15-03.30	n.d.	0	0	0	11.15-11.30	n.d.	48	10	58	19.15-19.30	n.d.	53	12	65
03.30-03.45	n.d.	2	0	2	11.30-11.45	n.d.	48	22	70	19.30-19.45	n.d.	70	6	76
03.45-04.00	n.d.	2	1	3	11.45-12.00	n.d.	47	10	57	19.45-20.00	n.d.	57	5	62
04.00-04.15	n.d.	2	0	2	12.00-12.15	n.d.	64	13	77	20.00-20.15	n.d.	36	7	43
04.15-04.30	n.d.	4	1	5	12.15-12.30	n.d.	67	23	90	20.15-20.30	n.d.	46	11	57
04.30-04.45	n.d.	8	0	8	12.30-12.45	n.d.	64	24	88	20.30-20.45	n.d.	28	8	36
04.45-05.00	n.d.	2	0	2	12.45-13.00	n.d.	62	16	78	20.45-21.00	n.d.	35	7	42
05.00-05.15	n.d.	3	1	4	13.00-13.15	n.d.	36	13	49	21.00-21.15	n.d.	18	8	26
05.15-05.30	n.d.	6	1	7	13.15-13.30	n.d.	49	7	56	21.15-21.30	n.d.	20	6	26
05.30-05.45	n.d.	9	0	9	13.30-13.45	n.d.	63	15	78	21.30-21.45	n.d.	15	1	16
05.45-06.00	n.d.	19	2	21	13.45-14.00	n.d.	48	9	57	21.45-22.00	n.d.	23	0	23
06.00-06.15	n.d.	15	1	16	14.00-14.15	n.d.	57	15	72	22.00-22.15	n.d.	27	0	27
06.15-06.30	n.d.	14	3	17	14.15-14.30	n.d.	50	5	55	22.15-22.30	n.d.	20	1	21
06.30-06.45	n.d.	19	1	20	14.30-14.45	n.d.	47	17	64	22.30-22.45	n.d.	10	1	11
06.45-07.00	n.d.	32	3	35	14.45-15.00	n.d.	68	16	84	22.45-23.00	n.d.	15	0	15
07.00-07.15	n.d.	29	6	35	15.00-15.15	n.d.	70	11	81	23.00-23.15	n.d.	10	1	11
07.15-07.30	n.d.	53	15	68	15.15-15.30	n.d.	48	14	62	23.15-23.30	n.d.	12	2	14
07.30-07.45	n.d.	75	8	83	15.30-15.45	n.d.	54	16	70	23.30-23.45	n.d.	10	3	13
07.45-08.00	n.d.	89	24	113	15.45-16.00	n.d.	54	13	67	23.45-00.00	n.d.	22	0	22

Via Orlando - DIREZIONE NORD														
Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	Pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali
00.00-00.15	n.d.	7	7	14	08.00-08.15	n.d.	60	56	116	16.00-16.15	n.d.	32	42	74
00.15-00.30	n.d.	5	0	5	08.15-08.30	n.d.	67	58	125	16.15-16.30	n.d.	40	45	85
00.30-00.45	n.d.	6	2	8	08.30-08.45	n.d.	54	50	104	16.30-16.45	n.d.	41	51	92
00.45-01.00	n.d.	5	1	6	08.45-09.00	n.d.	40	49	89	16.45-17.00	n.d.	34	61	95
01.00-01.15	n.d.	4	1	5	09.00-09.15	n.d.	43	61	104	17.00-17.15	n.d.	41	67	108
01.15-01.30	n.d.	3	1	4	09.15-09.30	n.d.	34	40	74	17.15-17.30	n.d.	41	46	87
01.30-01.45	n.d.	3	1	4	09.30-09.45	n.d.	30	44	74	17.30-17.45	n.d.	41	77	118
01.45-02.00	n.d.	3	1	4	09.45-10.00	n.d.	45	32	77	17.45-18.00	n.d.	59	58	117
02.00-02.15	n.d.	2	2	4	10.00-10.15	n.d.	28	27	55	18.00-18.15	n.d.	43	57	100
02.15-02.30	n.d.	4	1	5	10.15-10.30	n.d.	32	43	75	18.15-18.30	n.d.	60	61	121
02.30-02.45	n.d.	0	0	0	10.30-10.45	n.d.	44	37	81	18.30-18.45	n.d.	43	71	114
02.45-03.00	n.d.	1	0	1	10.45-11.00	n.d.	35	36	71	18.45-19.00	n.d.	55	43	98
03.00-03.15	n.d.	0	0	0	11.00-11.15	n.d.	34	44	78	19.00-19.15	n.d.	54	27	81
03.15-03.30	n.d.	0	0	0	11.15-11.30	n.d.	40	43	83	19.15-19.30	n.d.	53	34	87
03.30-03.45	n.d.	0	0	0	11.30-11.45	n.d.	40	39	79	19.30-19.45	n.d.	33	24	57
03.45-04.00	n.d.	3	0	3	11.45-12.00	n.d.	43	42	85	19.45-20.00	n.d.	39	35	74
04.00-04.15	n.d.	3	2	5	12.00-12.15	n.d.	59	36	95	20.00-20.15	n.d.	43	33	76
04.15-04.30	n.d.	2	0	2	12.15-12.30	n.d.	34	45	79	20.15-20.30	n.d.	23	22	45
04.30-04.45	n.d.	2	1	3	12.30-12.45	n.d.	43	42	85	20.30-20.45	n.d.	17	16	33
04.45-05.00	n.d.	3	1	4	12.45-13.00	n.d.	49	61	110	20.45-21.00	n.d.	19	13	32
05.00-05.15	n.d.	6	2	8	13.00-13.15	n.d.	47	40	87	21.00-21.15	n.d.	18	9	27
05.15-05.30	n.d.	8	1	9	13.15-13.30	n.d.	45	50	95	21.15-21.30	n.d.	14	9	23
05.30-05.45	n.d.	11	3	14	13.30-13.45	n.d.	45	46	91	21.30-21.45	n.d.	21	8	29
05.45-06.00	n.d.	12	7	19	13.45-14.00	n.d.	53	33	86	21.45-22.00	n.d.	16	13	29
06.00-06.15	n.d.	7	3	10	14.00-14.15	n.d.	71	35	106	22.00-22.15	n.d.	12	10	22
06.15-06.30	n.d.	21	7	28	14.15-14.30	n.d.	71	27	98	22.15-22.30	n.d.	7	26	33
06.30-06.45	n.d.	18	3	21	14.30-14.45	n.d.	47	29	76	22.30-22.45	n.d.	9	23	32
06.45-07.00	n.d.	29	8	37	14.45-15.00	n.d.	44	38	82	22.45-23.00	n.d.	13	17	30
07.00-07.15	n.d.	34	15	49	15.00-15.15	n.d.	25	43	68	23.00-23.15	n.d.	10	20	30
07.15-07.30	n.d.	18	28	46	15.15-15.30	n.d.	37	42	79	23.15-23.30	n.d.	12	27	39
07.30-07.45	n.d.	57	32	89	15.30-15.45	n.d.	31	41	72	23.30-23.45	n.d.	16	32	48
07.45-08.00	n.d.	45	53	98	15.45-16.00	n.d.	41	45	86	23.45-00.00	n.d.	18	11	29

		Sezione 06
CONNESSIONE AURELIA		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°35'4.98 N	10°20'48.78" E
Data rilievo	04-05 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	00:00 ÷ 00:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Connessione Aurelia - DIREZIONE EST														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	3	16	0	19	08.00-08.15	38	93	15	146	16.00-16.15	64	83	23	170
00.15-00.30	4	15	1	20	08.15-08.30	41	115	13	169	16.15-16.30	57	74	11	142
00.30-00.45	7	11	1	19	08.30-08.45	46	91	21	158	16.30-16.45	81	116	15	212
00.45-01.00	4	7	0	11	08.45-09.00	48	76	24	148	16.45-17.00	87	100	17	204
01.00-01.15	1	6	1	8	09.00-09.15	33	88	9	130	17.00-17.15	80	127	25	232
01.15-01.30	2	13	0	15	09.15-09.30	30	66	23	119	17.15-17.30	81	107	29	217
01.30-01.45	6	10	0	16	09.30-09.45	30	83	21	134	17.30-17.45	83	109	13	205
01.45-02.00	4	11	1	16	09.45-10.00	40	65	15	120	17.45-18.00	82	117	14	213
02.00-02.15	0	5	0	5	10.00-10.15	34	71	22	127	18.00-18.15	93	106	18	217
02.15-02.30	0	2	0	2	10.15-10.30	28	81	10	119	18.15-18.30	86	106	8	200
02.30-02.45	2	6	3	11	10.30-10.45	36	62	27	125	18.30-18.45	80	115	14	209
02.45-03.00	1	5	0	6	10.45-11.00	39	58	16	113	18.45-19.00	74	131	6	211
03.00-03.15	1	3	1	5	11.00-11.15	46	69	18	133	19.00-19.15	67	96	11	174
03.15-03.30	0	1	2	3	11.15-11.30	44	66	16	126	19.15-19.30	70	98	9	177
03.30-03.45	0	5	7	12	11.30-11.45	41	58	22	121	19.30-19.45	78	116	9	203
03.45-04.00	1	3	2	6	11.45-12.00	45	71	16	132	19.45-20.00	49	98	6	153
04.00-04.15	2	8	6	16	12.00-12.15	43	85	18	146	20.00-20.15	40	73	7	120
04.15-04.30	2	9	3	14	12.15-12.30	55	69	17	141	20.15-20.30	44	74	2	120
04.30-04.45	4	8	14	26	12.30-12.45	81	94	17	192	20.30-20.45	36	55	3	94
04.45-05.00	2	11	9	22	12.45-13.00	67	87	19	173	20.45-21.00	22	48	0	70
05.00-05.15	4	11	7	22	13.00-13.15	40	75	11	126	21.00-21.15	25	37	1	63
05.15-05.30	9	16	9	34	13.15-13.30	47	77	13	137	21.15-21.30	18	36	0	54
05.30-05.45	4	7	7	18	13.30-13.45	69	78	19	166	21.30-21.45	21	32	1	54
05.45-06.00	10	28	11	49	13.45-14.00	73	88	20	181	21.45-22.00	18	30	2	50
06.00-06.15	17	28	9	54	14.00-14.15	59	92	11	162	22.00-22.15	21	52	1	74
06.15-06.30	10	44	14	68	14.15-14.30	63	98	15	176	22.15-22.30	14	26	1	41
06.30-06.45	18	54	12	84	14.30-14.45	53	94	18	165	22.30-22.45	16	20	0	36
06.45-07.00	18	50	19	87	14.45-15.00	58	82	18	158	22.45-23.00	14	32	0	46
07.00-07.15	23	57	16	96	15.00-15.15	53	82	16	151	23.00-23.15	7	26	0	33
07.15-07.30	43	73	23	139	15.15-15.30	48	92	22	162	23.15-23.30	10	15	1	26
07.30-07.45	58	105	19	182	15.30-15.45	65	91	26	182	23.30-23.45	9	36	0	45
07.45-08.00	50	76	11	137	15.45-16.00	63	85	25	173	23.45-00.00	11	26	0	37

Connesione Aurelia - DIREZIONE OVEST														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	0	12	0	12	08.00-08.15	35	163	10	208	16.00-16.15	20	80	19	119
00.15-00.30	1	12	1	14	08.15-08.30	41	188	13	242	16.15-16.30	21	121	26	168
00.30-00.45	1	11	0	12	08.30-08.45	29	167	23	219	16.30-16.45	27	103	22	152
00.45-01.00	1	7	0	8	08.45-09.00	15	143	15	173	16.45-17.00	23	107	17	147
01.00-01.15	1	8	1	10	09.00-09.15	25	140	11	176	17.00-17.15	36	137	16	189
01.15-01.30	0	1	0	1	09.15-09.30	22	113	8	143	17.15-17.30	30	119	16	165
01.30-01.45	0	7	1	8	09.30-09.45	14	93	10	117	17.30-17.45	24	125	13	162
01.45-02.00	0	2	3	5	09.45-10.00	16	93	10	119	17.45-18.00	28	114	19	161
02.00-02.15	0	3	2	5	10.00-10.15	18	84	14	116	18.00-18.15	29	136	20	185
02.15-02.30	0	6	0	6	10.15-10.30	7	99	14	120	18.15-18.30	36	129	15	180
02.30-02.45	0	4	0	4	10.30-10.45	11	73	12	96	18.30-18.45	33	119	12	164
02.45-03.00	0	6	2	8	10.45-11.00	16	85	20	121	18.45-19.00	21	98	9	128
03.00-03.15	0	4	0	4	11.00-11.15	17	74	14	105	19.00-19.15	17	115	13	145
03.15-03.30	1	7	1	9	11.15-11.30	19	75	19	113	19.15-19.30	18	98	14	130
03.30-03.45	0	5	1	6	11.30-11.45	19	71	13	103	19.30-19.45	30	86	9	125
03.45-04.00	0	13	1	14	11.45-12.00	18	69	19	106	19.45-20.00	12	100	7	119
04.00-04.15	1	8	2	11	12.00-12.15	13	93	11	117	20.00-20.15	24	66	3	93
04.15-04.30	1	8	0	9	12.15-12.30	23	82	25	130	20.15-20.30	15	78	9	102
04.30-04.45	2	16	0	18	12.30-12.45	18	88	11	117	20.30-20.45	10	60	5	75
04.45-05.00	1	9	0	10	12.45-13.00	14	93	11	118	20.45-21.00	5	40	2	47
05.00-05.15	2	11	3	16	13.00-13.15	13	95	12	120	21.00-21.15	4	42	2	48
05.15-05.30	4	24	1	29	13.15-13.30	22	109	22	153	21.15-21.30	5	35	1	41
05.30-05.45	4	38	1	43	13.30-13.45	14	89	11	114	21.30-21.45	4	49	2	55
05.45-06.00	0	27	3	30	13.45-14.00	18	91	18	127	21.45-22.00	3	30	0	33
06.00-06.15	0	31	5	36	14.00-14.15	17	90	15	122	22.00-22.15	3	31	0	34
06.15-06.30	6	63	6	75	14.15-14.30	20	100	12	132	22.15-22.30	0	32	0	32
06.30-06.45	10	60	5	75	14.30-14.45	22	102	15	139	22.30-22.45	3	19	1	23
06.45-07.00	7	79	6	92	14.45-15.00	23	79	9	111	22.45-23.00	1	36	0	37
07.00-07.15	10	103	10	123	15.00-15.15	13	90	16	119	23.00-23.15	0	26	2	28
07.15-07.30	29	134	13	176	15.15-15.30	22	78	18	118	23.15-23.30	2	23	1	26
07.30-07.45	21	168	14	203	15.30-15.45	17	96	16	129	23.30-23.45	2	13	1	16
07.45-08.00	38	211	15	264	15.45-16.00	24	76	18	118	23.45-00.00	4	19	0	23

		Sezione 06
Via FIRENZE		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'47.03" N	10°20'32.81" E
Data rilievo	04-05 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	00:00 ÷ 00:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Firenze - DIREZIONE NORD														
Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	Pesanti	totali	Fascia Oraria	2 ruote	leggeri	pesanti	totali
00.00-00.15	3	35	0	38	08.00-08.15	19	219	17	255	16.00-16.15	25	176	12	213
00.15-00.30	0	27	0	27	08.15-08.30	44	262	15	321	16.15-16.30	20	210	17	247
00.30-00.45	0	28	0	28	08.30-08.45	27	261	14	302	16.30-16.45	15	179	22	216
00.45-01.00	3	21	0	24	08.45-09.00	18	178	15	211	16.45-17.00	14	201	13	228
01.00-01.15	0	14	2	16	09.00-09.15	12	190	12	214	17.00-17.15	33	213	26	272
01.15-01.30	1	13	1	15	09.15-09.30	20	199	21	240	17.15-17.30	32	199	17	248
01.30-01.45	1	18	0	19	09.30-09.45	25	176	19	220	17.30-17.45	29	188	10	227
01.45-02.00	1	13	1	15	09.45-10.00	14	187	8	209	17.45-18.00	26	219	11	256
02.00-02.15	1	12	0	13	10.00-10.15	17	173	20	210	18.00-18.15	23	228	8	259
02.15-02.30	0	6	0	6	10.15-10.30	21	184	6	211	18.15-18.30	29	205	6	240
02.30-02.45	0	7	2	9	10.30-10.45	22	173	19	214	18.30-18.45	26	209	13	248
02.45-03.00	0	7	1	8	10.45-11.00	20	189	11	220	18.45-19.00	19	229	8	256
03.00-03.15	0	7	2	9	11.00-11.15	22	159	15	196	19.00-19.15	32	213	6	251
03.15-03.30	1	12	2	15	11.15-11.30	27	166	15	208	19.15-19.30	36	191	6	233
03.30-03.45	0	8	4	12	11.30-11.45	21	174	11	206	19.30-19.45	15	203	4	222
03.45-04.00	2	6	1	9	11.45-12.00	21	194	17	232	19.45-20.00	16	160	4	180
04.00-04.15	0	12	6	18	12.00-12.15	28	197	12	237	20.00-20.15	21	170	10	201
04.15-04.30	0	20	4	24	12.15-12.30	24	198	13	235	20.15-20.30	16	115	2	133
04.30-04.45	1	27	14	42	12.30-12.45	34	212	16	262	20.30-20.45	10	103	7	120
04.45-05.00	1	14	7	22	12.45-13.00	22	203	10	235	20.45-21.00	7	78	1	86
05.00-05.15	0	29	5	34	13.00-13.15	32	179	11	222	21.00-21.15	2	79	0	81
05.15-05.30	4	57	5	66	13.15-13.30	35	206	15	256	21.15-21.30	7	87	2	96
05.30-05.45	6	110	10	126	13.30-13.45	31	205	11	247	21.30-21.45	8	82	2	92
05.45-06.00	8	64	8	80	13.45-14.00	28	183	18	229	21.45-22.00	2	65	2	69
06.00-06.15	11	63	9	83	14.00-14.15	27	158	12	197	22.00-22.15	4	67	0	71
06.15-06.30	7	84	10	101	14.15-14.30	32	192	17	241	22.15-22.30	4	55	0	59
06.30-06.45	19	134	14	167	14.30-14.45	27	149	16	192	22.30-22.45	1	72	1	74
06.45-07.00	26	166	15	207	14.45-15.00	27	174	10	211	22.45-23.00	2	69	0	71
07.00-07.15	18	168	23	209	15.00-15.15	11	167	15	193	23.00-23.15	1	63	0	64
07.15-07.30	35	240	28	303	15.15-15.30	24	179	17	220	23.15-23.30	1	51	0	52
07.30-07.45	51	241	19	311	15.30-15.45	25	177	19	221	23.30-23.45	3	54	0	57
07.45-08.00	24	228	15	267	15.45-16.00	19	159	21	199	23.45-00.00	2	49	0	51

Via Firenze - DIREZIONE SUD														
Fascia Oraria	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**Pesanti**	**totali**	**Fascia Oraria**	**2 ruote**	**leggeri**	**pesanti**	**totali**
00.00-00.15	3	29	1	33	08.00-08.15	28	106	15	149	16.00-16.15	26	123	17	166
00.15-00.30	4	23	1	28	08.15-08.30	50	128	22	200	16.15-16.30	39	109	38	186
00.30-00.45	2	23	0	25	08.30-08.45	41	133	27	201	16.30-16.45	27	134	33	194
00.45-01.00	5	15	1	21	08.45-09.00	37	130	25	192	16.45-17.00	52	167	25	244
01.00-01.15	3	13	1	17	09.00-09.15	22	141	23	186	17.00-17.15	54	147	16	217
01.15-01.30	2	16	0	18	09.15-09.30	30	125	23	178	17.15-17.30	60	161	27	248
01.30-01.45	4	15	1	20	09.30-09.45	30	108	19	157	17.30-17.45	54	181	20	255
01.45-02.00	3	6	2	11	09.45-10.00	22	111	21	154	17.45-18.00	53	159	21	233
02.00-02.15	2	12	1	15	10.00-10.15	30	115	29	174	18.00-18.15	44	170	24	238
02.15-02.30	2	15	1	18	10.15-10.30	22	124	23	169	18.15-18.30	58	164	24	246
02.30-02.45	1	1	0	2	10.30-10.45	27	115	20	162	18.30-18.45	35	157	18	210
02.45-03.00	1	6	2	9	10.45-11.00	26	120	25	171	18.45-19.00	30	148	17	195
03.00-03.15	0	5	2	7	11.00-11.15	34	106	20	160	19.00-19.15	35	126	20	181
03.15-03.30	2	9	0	11	11.15-11.30	26	138	23	187	19.15-19.30	36	122	25	183
03.30-03.45	0	12	3	15	11.30-11.45	30	97	22	149	19.30-19.45	33	125	12	170
03.45-04.00	1	8	1	10	11.45-12.00	25	111	29	165	19.45-20.00	30	140	20	190
04.00-04.15	3	17	3	23	12.00-12.15	25	127	17	169	20.00-20.15	23	99	10	132
04.15-04.30	0	11	1	12	12.15-12.30	26	94	26	146	20.15-20.30	17	94	10	121
04.30-04.45	2	22	2	26	12.30-12.45	37	123	20	180	20.30-20.45	18	98	3	119
04.45-05.00	2	19	4	25	12.45-13.00	33	129	20	182	20.45-21.00	14	92	4	110
05.00-05.15	1	14	2	17	13.00-13.15	27	106	12	145	21.00-21.15	13	56	4	73
05.15-05.30	4	18	7	29	13.15-13.30	28	91	25	144	21.15-21.30	9	66	3	78
05.30-05.45	8	28	1	37	13.30-13.45	23	106	23	152	21.30-21.45	13	80	4	97
05.45-06.00	6	31	10	47	13.45-14.00	25	115	13	153	21.45-22.00	10	44	1	55
06.00-06.15	7	46	15	68	14.00-14.15	37	115	28	180	22.00-22.15	21	65	0	86
06.15-06.30	10	43	9	62	14.15-14.30	41	145	18	204	22.15-22.30	11	55	2	68
06.30-06.45	11	64	11	86	14.30-14.45	36	142	16	194	22.30-22.45	3	40	0	43
06.45-07.00	16	63	12	91	14.45-15.00	35	108	16	159	22.45-23.00	15	38	0	53
07.00-07.15	14	72	12	98	15.00-15.15	36	142	27	205	23.00-23.15	4	43	1	48
07.15-07.30	31	59	15	105	15.15-15.30	33	125	23	181	23.15-23.30	6	47	2	55
07.30-07.45	27	100	22	149	15.30-15.45	36	110	12	158	23.30-23.45	10	48	1	59
07.45-08.00	42	124	29	195	15.45-16.00	40	120	23	183	23.45-00.00	8	30	0	38

Di seguito sono riportati i risultati dei rilievi di traffico ottenuti mediante rilevazione con operatore manuale:

		Sezione 07
Via ENRICO MATTEI		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'5.22" N	10°18'49.70" E
Data rilievo	10 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Mattei - DIREZIONE NORD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	8	36	10	54
07.45-08.00	2	47	17	61
08.00-08.15	5	43	20	68
08.15-08.30	9	29	16	54
08.30-08.45	6	28	18	52
08.45-09.00	3	39	20	62

Via Mattei - DIREZIONE SUD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	13	72	18	103
07.45-08.00	13	99	16	128
08.15-08.30	8	96	14	118
08.15-08.30	8	106	20	134
08.30-08.45	8	95	16	119
08.45-09.00	8	103	13	124

		Sezione 08
Via FIRENZA NORD		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°35'16.39" N	10°20'47.71" E
Data rilievo	11 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Firenze (Nord) - DIREZIONE NORD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	20	297	11	328
07.45-08.00	32	284	12	328
08.00-08.15	20	313	14	347
08.15-08.30	15	305	10	330
08.30-08.45	27	292	24	343
08.45-09.00	16	249	13	278

Via Firenze (Nord) - DIREZIONE SUD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	25	266	34	325
07.45-08.00	29	257	25	311
08.00-08.15	22	254	21	297
08.15-08.30	22	308	29	359
08.30-08.45	24	284	25	333
08.45-09.00	17	274	43	334

		Sezione 09
Via NORD		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'27.49" N	10°20'7.41" E
Data rilievo	12 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Nord - DIREZIONE NORD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	8	46	8	62
07.45-08.00	12	54	6	72
08.00-08.15	7	72	6	85
08.15-08.30	15	74	15	104
08.30-08.45	10	73	10	93
08.45-09.00	9	70	10	89

Via Nord - DIREZIONE SUD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	11	57	6	74
07.45-08.00	22	60	6	88
08.00-08.15	10	68	8	86
08.15-08.30	21	86	7	114
08.30-08.45	9	80	9	98
08.45-09.00	19	103	8	130

		Sezione 10
Via ENRIQUES		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'29.94" N	10°20'5.54" E
Data rilievo	12 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Enriques - DIREZIONE SUD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	1	6	6	13
07.45-08.00	1	6	15	22
08.00-08.15	2	13	13	28
08.15-08.30	3	24	18	45
08.30-08.45	4	32	14	50
08.45-09.00	2	37	14	53

Via Enriques - DIREZIONE NORD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	6	13	1	20
07.45-08.00	8	19	1	28
08.00-08.15	6	23	8	37
08.15-08.30	3	35	8	46
08.30-08.45	3	25	13	41
08.45-09.00	3	22	8	33

		Sezione 11
Via FIRENZE SUD		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'5.50" N	10°19'24.95" E
Data rilievo	19 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Firenze (Sud) - DIREZIONE NORD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	51	267	9	327
07.45-08.00	64	290	30	384
08.00-08.15	38	273	14	325
08.15-08.30	115	390	7	367
08.30-08.45	39	266	15	320
08.45-09.00	23	255	8	286

Via Firenze (Sud) - DIREZIONE SUD				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	13	126	5	144
07.45-08.00	23	172	17	212
08.00-08.15	13	172	17	202
08.15-08.30	16	141	14	171
08.30-08.45	20	176	14	210
08.45-09.00	17	148	14	179

		Sezione 12
Via PIAN DI ROTA		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°34'37.40'' N	10°20'23.08'' E
Data rilievo	20 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via Pian di Rota - DIREZIONE SUD-EST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	10	96	22	128
07.45-08.00	9	110	24	143
08.00-08.15	4	120	24	148
08.15-08.30	7	129	20	156
08.30-08.45	5	109	16	130
08.45-09.00	9	147	28	184

Via Pian di Rota - DIREZIONE NORD-OVEST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	8	86	16	110
07.45-08.00	9	128	11	147
08.00-08.15	6	120	19	145
08.15-08.30	4	152	7	161
08.30-08.45	4	125	17	146
08.45-09.00	3	123	24	150

		Sezione 13
Via L. DA VINCI (ZONA PORTO)		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°35'9.54" N	10°19'12.16" E
Data rilievo	21 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Soleggiato	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

Via L. da Vinci (porto) - DIREZIONE EST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	1	8	13	22
07.45-08.00	1	9	23	33
08.00-08.15	0	3	22	25
08.15-08.30	2	20	28	50
08.30-08.45	0	16	33	49
08.45-09.00	2	28	44	74

Via L. da Vinci (porto) - DIREZIONE OVEST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	6	33	32	71
07.45-08.00	13	54	27	94
08.00-08.15	4	35	34	73
08.15-08.30	6	40	45	91
08.30-08.45	2	25	35	62
08.45-09.00	4	25	32	61

		Sezione 14
FI-PI-LI (LATO OVEST)		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°35'12.97" N	10°19'7.20" E
Data rilievo	26 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Nuvoloso	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

FI-PI-LI (Ovest) - DIREZIONE OVEST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	2	153	51	206
07.45-08.00	2	169	46	217
08.00-08.15	0	171	44	215
08.15-08.30	0	193	48	241
08.30-08.45	1	179	47	227
08.45-09.00	2	165	37	204

FI-PI-LI (Ovest) - DIREZIONE EST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	80	215	30	325
07.45-08.00	46	197	44	287
08.00-08.15	13	112	35	160
08.15-08.30	0	102	58	160
08.30-08.45	1	103	60	164
08.45-09.00	5	101	53	159

		Sezione 15
FI-PI-LI (LATO EST)		
Dati della Postazione		
Coordinate GPS	43°35'32.94" N	10°20'14.21" E
Data rilievo	28 aprile 2017	
Periodo orario rilievo	07:30 ÷ 09:00	
Condizioni meteo	Nuvoloso	
Localizzazione della Postazione		
Immagine della Postazione		

FI-PI-LI (Est) - DIREZIONE OVEST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	4	72	31	107
07.45-08.00	6	111	40	157
08.00-08.15	3	104	35	142
08.15-08.30	3	142	26	171
08.30-08.45	4	128	30	162
08.45-09.00	7	142	24	173

FI-PI-LI (Est) - DIREZIONE EST				
Orario	**Due ruote**	**Leggeri**	**Pesanti**	**Totali**
07.30-07.45	2	72	24	98
07.45-08.00	2	81	33	116
08.00-08.15	1	75	28	104
08.15-08.30	0	94	24	118
08.30-08.45	0	82	39	121
08.45-09.00	5	74	36	115

2.2.2. Omogeneizzazione dei dati in portate

Non essendo disponibili per ogni punto rilevato, i dati sui veicoli a due ruote sono stati aggregati a quelli delle auto utilizzando il fattore di equivalenza appropriato (1 veicolo a due ruote = 0.5 uvp). Inoltre i dati riportati nelle tabelle del capitolo 2.2.1 sono stati convertiti in portate dell'ora di punta del mattino del giorno feriale, che nel nostro caso è 7:45÷8:45, ed è definita come il numero massimo di veicoli transitati in una frazione dell'ora (usualmente 4 frazioni di 15 min, come indicato dal manuale HCM) esteso poi all'ora moltiplicandolo per il numero di frazioni. I risultati sono riportati nella tabella seguente:

		Veicoli Leggeri (uvp/ora)		**Veicoli Pesanti (veic/ora)**	
		Entrante	Uscente	Entrante	Uscente
P1	FI-PI-LI (Est)	776	880	192	240
P2	FI-PI-LI (Ovest)	396	582	160	188
P3	Via L. da Vinci (porto)	84	242	132	180
P4	Via Orlando	268	356	232	96
P5	Via Cateratte	292	136	12	20
P6	Via Mattei	212	450	80	80
P7	Via Firenze (sud)	1790	750	180	68
P8	Via Enriques	136	156	72	52
P9	Via Nord	326	388	60	36
P10	Via Pian di Rota	626	534	76	96
P11	Connessione Aurelia	926	576	60	76
P12	Via Firenze (nord)	1290	1316	116	96

2.2.3. Riequilibrio globale della rete

Le portate ottenute devono essere ulteriormente trattate, in quanto per la continuità, la portata complessiva in ingresso deve essere uguale alla portata complessiva in uscita. Si procede quindi al calcolo delle due sommatorie:

$$\sum portata\ in\ ingresso = \sum portata\ in\ uscita$$

Portate dei veicoli leggeri entranti e uscenti dalla rete (uvp/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	776	880
P2	FI-PI-LI (Ovest)	396	582
P3	Via L. da Vinci (porto)	84	242
P4	Via Orlando	268	356
P5	Via Cateratte	292	136
P6	Via Mattei	212	450
P7	Via Firenze (sud)	1790	750
P8	Via Enriques	136	156
P9	Via Nord	326	388
P10	Via Pian di Rota	626	534
P11	Connessione Aurelia	926	576
P12	Via Firenze (nord)	1290	1316
	TOTALE	**7122**	**6366**

Portate dei veicoli pesanti entranti e uscenti dalla rete (veic/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	192	240
P2	FI-PI-LI (Ovest)	160	188
P3	Via L. da Vinci (porto)	132	180
P4	Via Orlando	232	96
P5	Via Cateratte	12	20
P6	Via Mattei	80	80
P7	Via Firenze (sud)	180	68
P8	Via Enriques	72	52
P9	Via Nord	60	36
P10	Via Pian di Rota	76	96
P11	Connessione Aurelia	60	76
P12	Via Firenze (nord)	116	96
	TOTALE	**1372**	**1228**

La differenza che si ha tra portate in ingresso e in uscita è pari a:

- per i veicoli **leggeri**

$$\Delta = \sum portata\ entrante - \sum portata\ uscente = 7122 - 6366 = 756$$

- per i veicoli **pesanti**

$$\Delta = \sum portata\ entrante - \sum portata\ uscente = 1372 - 1228 = 144$$

Tale variazione, rispetto ai veicoli uscenti, assume un valore percentuale pari a:

- per i veicoli **leggeri**

$$Variazione\ \% = \frac{\Delta}{\sum portata\ entrante} \cdot 100 = \frac{756}{7122} = 10{,}61\ \%$$

- per i veicoli **pesanti**

$$Variazione\ \% = \frac{\Delta}{\sum portata\ entrante} \cdot 100 = \frac{144}{1372} = 10{,}50\ \%$$

Tale valore è più che accettabile, considerando le approssimazioni che si hanno a livello di modellazione della rete stradale.

Il passo successivo è quello di riequilibrare il sistema, andando a ripartire la differenza di portate fra le portate uscenti e proporzionalmente ad esse. Nelle seguenti tabelle sono elencati i valori di correzione da applicare alle portate uscenti:

Correzione da applicare alle portate uscenti dei veicoli leggeri		
Centroide		Correzione
P1	FI-PI-LI (Est)	+ 105
P2	FI-PI-LI (Ovest)	+ 69
P3	Via L. da Vinci (porto)	+ 29
P4	Via Orlando	+ 42
P5	Via Cateratte	+ 16
P6	Via Mattei	+ 53
P7	Via Firenze (sud)	+ 89
P8	Via Enriques	+ 19
P9	Via Nord	+ 46
P10	Via Pian di Rota	+ 63
P11	Connessione Aurelia	+ 68
P12	Via Firenze (nord)	+ 156
	TOTALE	**+ 755**

Correzione da applicare alle portate uscenti dei veicoli pesanti		
Centroide		Correzione
P1	FI-PI-LI (Est)	+ 28
P2	FI-PI-LI (Ovest)	+ 22
P3	Via L. da Vinci (porto)	+ 21
P4	Via Orlando	+ 11
P5	Via Cateratte	+ 2
P6	Via Mattei	+ 9
P7	Via Firenze (sud)	+ 8
P8	Via Enriques	+ 6
P9	Via Nord	+ 4
P10	Via Pian di Rota	+ 11
P11	Connessione Aurelia	+ 9
P12	Via Firenze (nord)	+ 11
	TOTALE	**+ 142**

Dopo aver applicato la correzione si ottengo i valori della tabella con le portate entranti e le portate uscenti equilibrate:

Portate equilibrate veicoli leggeri (uvp/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	776	985
P2	FI-PI-LI (Ovest)	396	651
P3	Via L. da Vinci (porto)	84	271
P4	Via Orlando	268	398
P5	Via Cateratte	292	152
P6	Via Mattei	212	503
P7	Via Firenze (sud)	1790	839
P8	Via Enriques	136	175
P9	Via Nord	326	434
P10	Via Pian di Rota	626	597
P11	Connessione Aurelia	926	644
P12	Via Firenze (nord)	1290	1472
	TOTALE	**7122**	**7121**

Portate equilibrate veicoli pesanti (veic/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	192	268
P2	FI-PI-LI (Ovest)	160	210
P3	Via L. da Vinci (porto)	132	201
P4	Via Orlando	232	107
P5	Via Cateratte	12	22
P6	Via Mattei	80	89
P7	Via Firenze (sud)	180	76
P8	Via Enriques	72	58
P9	Via Nord	60	40
P10	Via Pian di Rota	76	107
P11	Connessione Aurelia	60	85
P12	Via Firenze (nord)	116	107
	TOTALE	**1372**	**1370**

Le portate cosi equilibrate rappresentano la domanda generata ed attratta dai centroidi considerati nella rete.

2.2.4. Determinazione della matrice O/D

La matrice Origine/Destinazione nel nostro caso a dimensione quadrata 12x12, pari al numero dei centroidi. Conoscendo soltanto i flussi di traffico entranti ed uscenti dal sistema esistono moltissime matrici O/D possibili, infatti manca un ulteriore vincolo che renda univoca la determinazione.
E' solito ipotizzare una ripartizione delle portate di tipo euristico, che mediante una procedura iterativa ripartisce i flussi proporzionalmente e in modo alternato fra le portate entranti e le portate uscenti, fino a raggiungere la convergenza. Un'altra ipotesi è che siano nulli i flussi generati dal centroide e diretti verso se stesso, per cui gli elementi della diagonale della matrice assumeranno valori nulli in tutte le fasi del procedimento.

Il procedimento iterativo è composta da 3 fasi fondamentali:

1. Inizializzazione
   Avviene andando a ripartire la portata entrante dal nodo i-esimo verso le direzioni j, rispetto alla portata totale entrante nei nodi meno la portata entrante nel nodo j, proporzionalmente alla portata uscente dal nodo j:

$$a_{ij} = \frac{V_{e,i}}{\sum_{i=1}^{n}(Ve,i) - V_{e,j}} \cdot V_{u,j}$$

   Con $V_e = portata\ entrante$ $V_u = portata\ uscente$

   Si ottiene una matrice di partenza, che sarà bilanciata sulle colonne cioè la sommatoria sulle colonne delle portate corrisponderà alla portata entrante nel centroide ed uscente dalla rete, mentre la sommatoria delle

portate sulle righe differirà dalle portate uscenti dai centroidi ed entranti nella rete andando a generare un differenziale Δ_{ij}.

2. Iterazione

   Nella prima iterazione il differenziale Δ_{ij} dovrà essere ripartito proporzionalmente tra gli elementi della riga generando una matrice bilanciata sulle righe, ma sbilanciata sulle colonne. Proseguendo le iterazioni continueremo a ripartire i differenziali residui, correggendo le righe per le iterazioni dispari e le colonne per le iterazioni pari, fino a raggiungere la convergenza.

3. Test di convergenza

   Al termine di ciascuna iterazione è necessario procedere alla verifica del test di arresto che pone fine alle iterazioni nel caso in cui sia verificata la seguente disequazione:

$$max\left\{\left|\frac{\Delta_{e,i}}{Tot_{riga}}\right|,\left|\frac{\Delta_{u,j}}{Tot_{colonna}}\right|\right\} < 0,01$$

Nel nostro caso sono state calcolate separatamente la matrice O/D dei veicoli leggeri e quella dei veicoli pesanti O/D:

- Matrice O/D veicoli leggeri:

Iterazione "0"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	75	30	45	17	56	122	19	50	71	81	196	763	-13
P2	61	0	15	23	9	29	62	10	25	36	41	100	412	16
P3	13	8	0	5	2	6	13	2	5	8	9	21	92	8
P4	42	26	10	0	6	20	42	7	17	25	28	68	289	21
P5	45	28	11	17	0	21	46	7	19	27	30	74	326	34
P6	33	21	8	12	5	0	33	5	14	19	22	54	226	14
P7	278	173	69	104	40	130	0	45	114	165	186	452	1756	-34
P8	21	13	5	8	3	10	21	0	9	12	14	34	151	15
P9	51	32	13	19	7	24	51	8	0	30	34	82	350	24
P10	97	61	24	36	14	46	99	16	40	0	65	158	655	29
P11	144	90	36	54	21	67	146	23	59	85	0	234	958	32
P12	200	125	50	75	29	94	203	32	82	119	134	0	1143	-147
Σ colonna →	985	651	271	398	152	503	839	175	434	597	644	1472		
Δu,j →	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Test di Arresto: 0,13 <0,01 **NON VERIFICA**

Iterazione "1"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	76	30	46	18	57	124	20	50	73	82	199	776	0
P2	59	0	15	22	8	28	60	10	24	35	40	96	396	0
P3	12	7	0	4	2	6	12	2	5	7	8	19	84	0
P4	39	24	10	0	6	18	39	6	16	23	26	63	268	0
P5	41	25	10	15	0	19	41	7	17	24	27	66	292	0
P6	31	19	8	12	4	0	31	5	13	18	21	50	212	0
P7	283	177	70	106	41	133	0	46	117	168	190	461	1790	0
P8	19	12	5	7	3	9	19	0	8	11	13	31	136	0
P9	47	29	12	18	7	22	48	8	0	28	32	77	326	0

P10	93	58	23	35	13	44	94	15	38	0	62	151	626	0
P11	139	87	34	52	20	65	141	22	57	82	0	226	926	0
P12	226	141	56	85	32	106	229	36	93	134	151	0	1290	0
Σ colonna →	988	656	273	401	153	506	839	176	438	603	651	1439		
Δu,j →	3	5	2	3	1	3	0	1	4	6	7	-33		

Test di Arresto: 0,02 <0,01 **NON VERIFICA**

Iterazione "2"

	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	76	30	45	17	57	124	20	50	72	81	204	777	1
P2	59	0	15	22	8	27	60	9	24	35	39	98	397	1
P3	12	7	0	4	2	6	12	2	5	7	8	20	84	0
P4	38	24	9	0	5	18	39	6	16	23	26	64	268	0
P5	40	25	10	15	0	19	41	7	17	24	27	68	292	0
P6	31	19	8	11	4	0	31	5	13	18	20	51	212	0
P7	282	175	70	105	40	132	0	45	116	166	188	471	1791	1
P8	19	12	5	7	3	9	19	0	8	11	13	32	136	0
P9	47	29	12	17	7	22	48	8	0	28	31	78	326	0
P10	93	57	23	34	13	43	94	15	38	0	62	155	627	1
P11	139	86	34	52	20	65	141	22	57	82	0	231	928	2
P12	225	140	56	84	32	105	229	36	92	133	150	0	1282	-8
Σ colonna →	985	651	271	398	152	503	839	175	434	597	644	1472		
Δu,j →	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Test di Arresto: 0,006 <0,01 **VERIFICA**

- Matrice O/D veicoli pesanti:

Iterazione "0"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	33	31	18	3	13	12	9	6	16	12	16	170	-22
P2	36	0	26	15	3	11	10	7	5	13	10	14	150	-10
P3	30	23	0	12	2	9	8	6	4	11	9	11	125	-7
P4	53	40	38	0	4	16	15	10	7	19	15	20	236	4
P5	3	2	2	1	0	1	1	1	0	1	1	1	13	1
P6	18	14	13	8	1	0	5	4	2	7	5	7	84	4
P7	41	31	29	17	3	12	0	8	5	15	12	15	189	9
P8	16	12	12	7	1	5	5	0	2	6	5	6	77	5
P9	14	10	10	6	1	4	4	3	0	5	4	5	65	5
P10	17	13	12	7	1	5	5	3	2	0	5	6	78	2
P11	14	10	10	6	1	4	4	3	2	5	0	5	63	3
P12	26	20	19	11	2	8	7	5	4	10	8	0	119	3
Σ colonna →	268	210	201	107	22	89	76	58	40	107	85	107		
Δu,j →	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Test di Arresto: 0,13 <0,01 **NON VERIFICA**

Iterazione "1"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	38	35	20	4	15	14	10	7	18	14	18	192	0
P2	39	0	28	16	3	12	11	8	5	14	11	15	160	0
P3	32	24	0	13	2	10	9	6	4	11	9	12	132	0
P4	52	39	37	0	4	16	15	10	7	19	15	19	232	0
P5	2	2	2	1	0	1	1	0	0	1	1	1	12	0
P6	17	13	12	7	1	0	5	3	2	6	5	7	80	0
P7	39	30	28	16	3	12	0	8	5	14	11	15	180	0
P8	15	12	11	6	1	5	4	0	2	6	4	6	72	0
P9	13	10	9	5	1	4	4	2	0	5	4	5	60	0

P10	17	13	12	7	1	5	5	3	2	0	5	6	76	0
P11	13	10	9	5	1	4	4	3	2	5	0	5	60	0
P12	26	20	18	11	2	8	7	5	3	9	7	0	116	0
Σ colonna →	264	210	201	108	22	90	77	59	40	108	86	108		
Δu,j →	-4	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1		

Test di Arresto: 0,015 <0,01 **NON VERIFICA**

Iterazione "2"

	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	38	35	20	3	15	14	10	7	18	14	18	191	-1
P2	39	0	28	16	3	12	11	8	5	14	11	14	160	0
P3	32	24	0	13	2	9	9	6	4	11	9	12	132	0
P4	52	40	37	0	4	16	14	10	7	19	15	19	232	0
P5	3	2	2	1	0	1	1	0	0	1	1	1	12	0
P6	18	13	12	7	1	0	5	3	2	6	5	6	80	0
P7	40	30	28	16	3	12	0	8	5	14	11	14	180	0
P8	16	12	11	6	1	5	4	0	2	6	4	6	72	0
P9	13	10	9	5	1	4	3	2	0	5	4	5	60	0
P10	17	13	12	7	1	5	5	3	2	0	5	6	76	0
P11	13	10	9	5	1	4	4	3	2	5	0	5	60	0
P12	26	20	18	10	2	8	7	5	3	9	7	0	116	0
Σ colonna →	268	210	201	107	22	89	76	58	40	107	85	107		
Δu,j →	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Test di Arresto: 0,005 <0,01 **VERIFICA**

2.3. Modello della rete attuale

2.3.1 Il software Aimsun™

Il programma si può considerare una piattaforma integrata di modelli atti a replicare i fenomeni connessi alla circolazione dei veicoli, i suoi algoritmi permettono di modellare il comportamento su scala microscopica e offrire così una rappresentazione verosimile del reale comportamento degli utenti in strada. L'analisi può andare dalla simulazione della singola intersezione fino alla simulazione di intere reti urbane, permettendo l'analisi microscopica, mesoscopica e macroscopica. Questo programma si interfaccia con GIS, CAD, altri simulatori e software di pianificazione.

2.3.1.1. La modellazione dello scenario

Lo scenario di simulazione viene realizzato sagomando la rete o l'intersezione su un disegno di fondo. Lo scenario è composto da elementi a senso unico chiamati section, che costituiscono gli archi viari, i quali si collegano tra loro in incroci che prendono il nome di node. Una strada a due corsie per senso di marcia verrà quindi riprodotta usando due section, una orientata in senso opposto all'altra. L'immagine di fondo su cui verrà modellata la rete o l'intersezione può essere in formato vettoriale DWG o DXF, ma anche in formato JPEG. Strumenti appositi permettono di assegnare le opportune unità di misura e di scalare l'immagine o il disegno. Una volta modellate, le section vengono unite in un node che può essere un incrocio non semaforizzato, semaforizzato o a rotatoria. La disciplina dell'incrocio (regole di precedenza, ciclo semaforico, manovre permesse) vengono stabilite dall'utente. Quando il

modello è realizzato si impostano le condizioni del traffico, le quali possono essere inserite nel programma in due modi:

- mediante la determinazione di uno stato di traffico (Traffic State)
- mediante l'assegnazione di una matrice Origine/Destinazione (Traffic Demand)

Con il primo metodo si conosce il flusso del traffico in ingresso nel sistema e ogni percentuale di svolta: è noto quindi ad ogni incrocio quanti veicoli in percentuale proseguono a dritto, quanti svoltano a destra e quanti svoltano a sinistra. Questo metodo si ottiene come risultato di un'assegnazione precedente, o da una solida e capillare campagna di rilevamenti, o infine come ipotesi sperimentale imposta dall'utente. I veicoli vengono generati nei punti di ingresso della rete in maniera casuale e altrettanto casualmente si distribuiscono per la rete, rispettando però l'assegnazione dei valori di svolta stabilita dall'utente. I veicoli non conosco l'intero percorso ma solo il prossimo movimento di svolta.
Il secondo metodo prevede l'assegnazione di una matrice O/D. L'utente deve creare i centroidi, vale a dire i punti da cui si originano i veicoli e verso cui i veicoli sono diretti. Quindi viene impostata la matrice decidendo per un intervallo di tempo desiderato quanti veicoli generati da un determinato centroide si dirigono verso uno specifico centroide di destinazione. Questo metodo è stato impiegato nel corso della ricerca oggetto del presente elaborato.

2.3.1.2. La modellazione delle manovre dei veicoli

I veicoli nella rete seguono i modelli comportamentali del Car Following, del Lane Changing, e del Gap Acceptance. Le vetture subiscono condizionamenti nel loro comportamento di guida in base all'ambiente circostante, alla segnaletica, alla geometria della strada e alla presenza e al comportamento dei veicoli vicini.

Il programma suddivide la singola simulazione in intervalli di tempo, definiti cicli di calcolo o Simulation Step, la cui ampiezza è compresa tra 0,1 s e 1,5 s. Al termine di ogni ciclo di calcolo il programma calcola per ogni veicolo presente nella rete la posizione e la velocità e le aggiorna in base al seguente algoritmo:

```
If (it is necessary to change lanes) then
Apply Lane-Changing Model
Endif
If (the vehicle has not changed lanes) then
Apply Car-Following Model
Endif
```

Al termine dell'aggiornamento vengono introdotti nella rete i veicoli previsti per il successivo ciclo di simulazione e si calcolano i tempi di arrivo per i veicoli del turno successivo.

Vengono brevemente illustrati i modelli impiegati:

- **Car Following**: questo modello stabilisce la velocità longitudinale del veicolo in base alla posizione e alla velocità degli altri veicoli, alla velocità desiderata e al tipo di guidatore. Questo modello possiede due componenti: accelerazione e decelerazione. La prima rappresenta l'intenzione di un veicolo di raggiungere una certa velocità desiderata, mentre la seconda riproduce le limitazioni imposte dal veicolo che lo precede quando il primo cerca di guidare alla velocità desiderata.

- **Lane Changing**: questo modello stabilisce se per un veicolo è possibile e conveniente effettuare un cambio di corsia. La decisione di cambiare corsia dipende dalla decelerazione che la manovra induce nei veicoli a monte, dalla distanza dal termine della section, dal confronto tra il traffico nella corsia corrente e quello nella corsia desiderata.

- **Gap Acceptance**: il modello valuta la possibilità per un veicolo di effettuare una manovra in un contesto in cui deve dare precedenza ad un'altra corrente veicolare. Si determina se un veicolo in approccio ad una intersezione da una strada secondaria può o non può attraversarla in funzione dei parametri dei veicoli sulla strada principale (posizione e velocità). Questo modello prende in considerazione la distanza del veicolo dall'ipotetico punto di collisione, la velocità e la sua accelerazione. In seguito determina il tempo necessario al veicolo per prendere una decisione ed attraversare l'intersezione che è anche funzione del livello di rischio caratteristico di ciascun guidatore. I parametri che hanno una maggiore influenza in questo modello sono

l'accelerazione del veicolo (a cui è legato il tempo di manovra), il massimo tempo di attesa che il conducente è disposto ad aspettare prima di tentare un'immissione azzardata (give way time), e il tempo di reazione (reaction time), che influenza il margine di sicurezza, cioè quel lasso di tempo aggiuntivo che il guidatore somma al tempo stimato per la manovra in modo da essere certo di riuscire ad oltrepassare in sicurezza il punto di conflitto.

2.3.1.3. Le classi veicolari

Aimsun™ dispone di alcune classi veicolari predefinite (auto, mezzi pesanti, autobus, pedoni) ed è possibile crearne di nuovi con le caratteristiche desiderate. Tutte le tipologie veicolari si possono definire in termini di:

- caratteristiche geometriche
- visualizzazione 2D e 3D per la restituzione grafica
- parametri cinematici e dinamici (accelerazione, decelerazione, frenata di emergenza e tempo di reazione)

In un approccio di simulazione dinamica, le manovre dei veicoli sono modellate, come visto precedentemente, utilizzando il modello di "car-following", "lane-changing" e "gap acceptance". Questi modelli di comportamento del veicolo sono in funzione dei vari parametri che consentono la modellazione dei vari tipi di veicoli. L'utente può impostare questi parametri a seconda delle caratteristiche del traffico da riprodurre, del paese e dell'ambiente che può essere rurale o urbano.

2.3.1.4. L'elaborazione delle simulazioni

Modellata la rete o l’intersezione e impostati i parametri dei veicoli, viene creato ciò che il programma definisce Scenario, vale a dire un insieme di più simulazioni della stessa situazione. In questa fase il programma impone di scegliere: la matrice O/D (o le matrici O/D se si utilizzano matrici per veicoli diversi o per fasce orarie diverse), un valore per il simulation step, il tempo di reazione davanti ad uno stop, il tempo di reazione davanti ad un semaforo e un tempo di warm up (che è il lasso di tempo dall’inizio della simulazione di cui il programma non tiene conto per la valutazione dei tempi di attesa, della lunghezza delle code, dei tempi di viaggio e di ogni altro dato di uscita) per dare modo alla rete di caricarsi adeguatamente.
In questa parte viene anche imposto un valore di look ahead, vale a dire il numero di svolte successive che un veicolo deve fare. Normalmente ogni veicolo conosce solamente la manovra da compiere al termine del ciclo di calcolo, ma imponendo look ahead più alti (da 2 in su) si permette al veicolo di conoscere anche una o più manovre successive alla prossima che deve effettuare.
Quando tutti questi parametri sono impostati viene creato un esperimento (Experiment) composto da simulazioni (Run) il cui numero viene deciso dall’utente, ciascuna delle quali carica la rete in maniera casuale e diversa dalle altre run. La disciplina degli arrivi può essere scelta tra le varie opzioni disponibili: esponenziale, normale, uniforme, A.S.A.P. Solitamente si opta per la distribuzione degli arrivi esponenziale.
Mediante la funzione Average (media) i valori dei singoli dati in uscita ricavati dalle varie run vengono espressi in un unico valore globale, che costituisce il dato finale ricercato tramite la simulazione.

2.3.1.5. La restituzione dei risultati

Ogni simulazione può essere eseguita in tempo reale, mostrando la rete con le vetture che vengono generate e si muovono attraverso di essa. La restituzione grafica può essere bidimensionale o tridimensionale. I risultati restituiti da Aimsun™ sono molteplici tra cui: il tempo di viaggio, il tempo di attesa, la lunghezza massima e media delle code, l'emissioni di anidride carbonica, l'entità del flusso, l'indice di saturazione, la densità veicolare. Questi risultati sono riportati sia per l'intera rete, sia per la singola section, per ogni simulazione o globalmente per l'intero esperimento. Possono essere esposti graficamente sul modello stesso mediante la sovrimpressione di testo o la colorazione. Alla rappresentazione grafica si affianca la raccolta dei dati in grafici o tabelle. Il programma permette di ricavare indicatori statistici dai dati ottenuti, come media e deviazione standard, o di confrontare i dati provenienti da più simulazioni rappresentandole sullo stesso grafico o appaiando i risultati nelle tabelle.

2.3.1.6. Calibrazione

Il programma Aimsun™ permette di creare modelli generali che devono essere adattati alla situazione esaminata mediante un'opportuna calibrazione. Il processo di calibrazione avviene seguendo un preciso schema, (riportato in figura 4): si sceglie un parametro legato alla situazione reale o di progetto (ad esempio il tempo di viaggio da un capo della rete ad un altro, o come nel caso del presente elaborato le portate di alcuni punti interni alla rete), e lo si confronta con lo stesso parametro dato come risultato da Aimsun™. Se la differenza tra i parametri reali e quelli ottenuti attraverso il programma soddisfa la verifica degli indici di discrepanza il modello si ritiene calibrato.

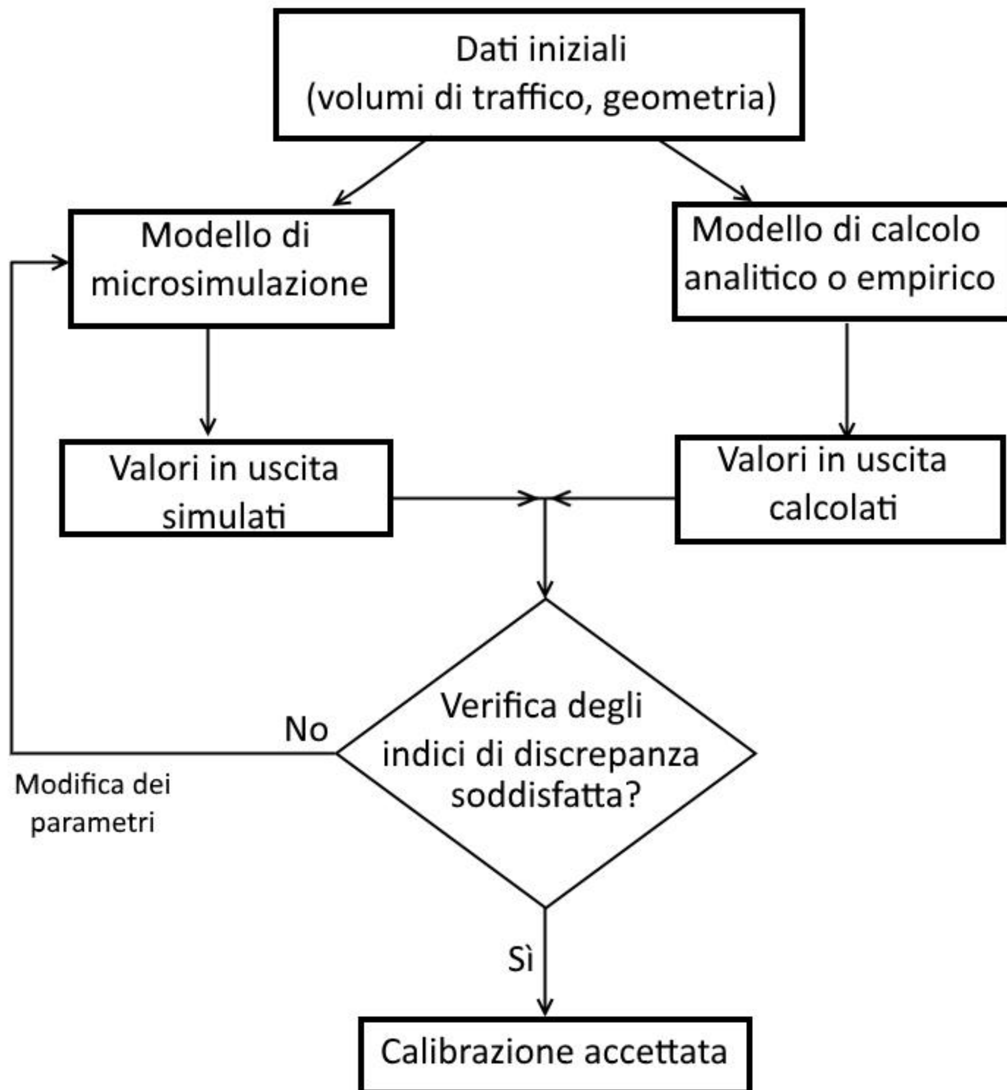


Figura 4: schema di procedura della calibrazione

Esistono vari indici di discrepanza per valutare la bontà della calibrazione:

1. Il più noto e largamente impiegato indice di discrepanza tra modello e situazione reale è la Radice dell'Errore Quadratico Medio (Root Mean Squared Error- RMSE), intesa come radice quadrata dell'Errore Quadratico Medio (Mean Squared Error- MSE). Definito x_i il valore del parametro stimato di un elemento i e y_i il valore omologo osservato dal

modello per lo stesso parametro riferito allo stesso elemento, il valore di RMSE è dato dalla seguente espressione:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (y_i - x_i)^2}$$

Con n pari al numero degli elementi.

Si passa a valori assoluti operando una normalizzazione dell'argomento del radicando, vale a dire dividendo la differenza tra i parametri confrontati per la media del parametro osservato $\bar{y}$. Si ottiene in questo modo la Radice dell'Errore Quadratico Medio Percentuale (Root Mean Squared Percent Error- RMSPE), la cui espressione è la seguente:

$$RMSPE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (y_i - x_i)^2}}{\bar{y}}$$

Il risultato dell'RMSPE è un numero puro ed esprime una stima dell'errore totale percentuale.

2. Altro indice diffuso è il coefficiente di correlazione lineare di Pearson **r** che indica quanto la relazione tra valori osservati e omologhi valori stimati si avvicina alla linearità.

$$r = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n} - \mathbf{1}} \sum_{\boldsymbol{i}=\mathbf{1}}^{\boldsymbol{n}} \frac{(\boldsymbol{x_i} - \bar{\boldsymbol{x}})(\boldsymbol{y_i} - \bar{\boldsymbol{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\boldsymbol{x_i} - \bar{\boldsymbol{x}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\boldsymbol{y_i} - \bar{\boldsymbol{y}})^2}}$$

In cui ai simboli già noti si aggiungono $\bar{x}$ e $\bar{y}$, intesi come valori medi dei parametri stimato x e di quelli osservato y.

3. Theil ha sviluppato una ulteriore misura della bontà di adattamento chiamata "Coefficiente di disuguaglianza di Theil", che risulta più sensibile ed accurato di quelli elencati precedentemente.

   Il coefficiente di discrepanza di Theil (U) ha la seguente espressione:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^{2}} + \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^{2}}}$$

Perché il modello possa ritenersi calibrato viene proposto per ciascun indice un valore di soglia che segna lo spartiacque convenzionale tra un buon adattamento e un cattivo adattamento dei dati.

RMSP < 0.20 (o meglio 0.15)

r > 0.8 (correlazione lineare forte)

U < 0.3 (discrepanza trascurabile)

Nel caso in cui al termine della prima simulazione, ottenuti quindi i dati del programma e messili a confronto con i dati equivalenti osservati o calcolati, le condizioni di calibrazione non fossero rispettate, è necessario modificare i parametri della simulazione, elencati di seguito dal più al meno influente:

1. Simulation Step: Indubbiamente il parametro dalla maggiore influenza e quindi il primo da modificare per cercare una soluzione di calibrazione accettabile. Più basso è il valore imposto, più gli utenti prenderanno decisioni rapidamente e avranno maggiore prontezza nelle

manovre, per cui sapranno sfruttare molti più varchi nelle correnti di disturbo e questo comporta tempi di attesa minori. Di contro un elevato simulation step, coincidente con un elevato tempo di reazione, porterebbe a tempi di attesa più ampi, o addirittura alla congestione di un ramo per incapacità degli utenti di immettersi.

2. Reaction Time at Stop: Il tempo di reazione allo stop è il secondo parametro per importanza. Esso è il tempo necessario perché un veicolo fermo davanti alla linea di stop (o nel caso delle rotatorie alla linea del dare precedenza) riconosca un varco nella corrente di disturbo e lo sfrutti per immettersi. Come è intuibile, tempi di reazione allo stop bassi indicano utenti molto reattivi e questo porta a ridurre i tempi di attesa, mentre tempi di reazione più alti indicano utenti scarsamente reattivi con conseguente aumento dei tempi di attesa e lunghezza delle code.
3. Look ahead: Questo parametro indica il numero di manovre consecutive che l'utente sa di dover fare. Di base ogni veicolo conosce solo la decisione che prenderà al termine del ciclo di simulazione, quindi sa solamente cosa farà alla svolta successiva. Aumentando il valore del look ahead il veicolo conosce le svolte e le manovre che dovrà compiere non solo al termine dell'attuale ciclo di calcolo, ma anche del successivo o dei successivi. Questo gli permette di prepararsi alle manovre con anticipo riducendo i tempi di attesa. Di contro diminuire il valore del look ahead o disattivarlo porta a tempi di attesa più lunghi.
4. Parametri dei veicoli: Il quarto parametro da cambiare nel caso i risultati fossero ancora lontani dall'offrire un modello calibrato sono i parametri dei veicoli, in particolar modo la velocità desiderata, la

massima accelerazione, la decelerazione ordinaria e la massima decelerazione a influire sui tempi di attesa.

5. Queuing up speed e queuing leaving speed: Gli ultimi due parametri, spesso accoppiati e considerati come un solo parametro, riguardano prettamente le code ed esprimono rispettivamente la velocità sotto la quale un veicolo è considerato in coda (Queuing up speed) e la velocità oltre la quale si ritiene che il veicolo abbia lasciato la coda. Modificare le velocità che definiscono la coda ha ripercussioni di lieve entità sui tempi di attesa.

2.3.2 Simulazione con Aimsun™

In questa fase dello studio si è creato il modello relativo allo stato attuale per poter effettuare la simulazione.
La rete con le sue caratteristiche geometriche viene modellata su Aimsun™ basandosi sulle ortofoto e sulla Carta Tecnica Regionale messe a disposizione dalla Cartoteca della regione Toscana. Si è disegnato i nodi e i rispettivi archi della rete assegnando ad ognuno di essi le caratteristiche geometriche e tipologiche alle quali è associata una determinata velocità di percorrenza degli archi e la capacità. In seguito si creano le classi veicolari e si inseriscono i centroidi. Un'immagine del modello è visibile nella figura 5:

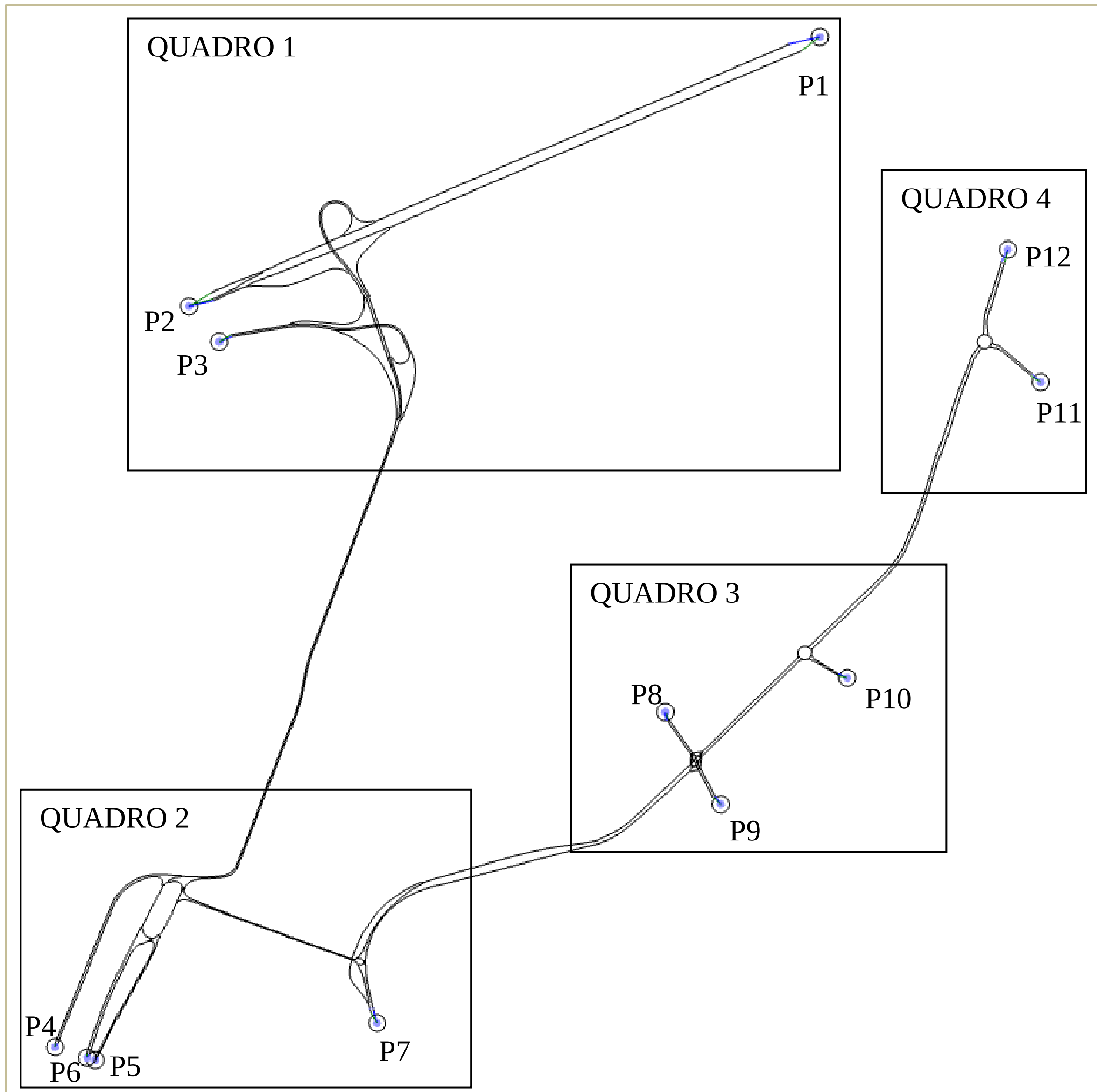


Figura 5: modello della rete e sua suddivisione

A questo punto le matrici trovate nel paragrafo vengono inserite in Aimsun™ che, utilizzando l'algoritmo di Frank e Wolfe, ha determinato la distribuzione dei flussi negli archi della rete in condizioni di equilibrio deterministico, sia complessivamente (in termini di unità veicoli passeggeri - uvp) sia per i soli veicoli leggeri e i soli veicoli pesanti. Inoltre ha aggiornato le matrici O/D in modo che lo scarto tra i flussi stimati dal modello e quelli misurati fosse

minimo. Di seguito si riportano le matrici O/D aggiornate dei veicoli leggeri e pesanti e la matrice O/D dei veicoli complessivi espressi in uvp (1 veicolo leggero = 1 uvp; per uniformare i veicoli pesanti, si è utilizzato 1 veicolo pesante = 2 uvp).

Matrice veicoli leggeri

Centroide	*P1*	*P2*	*P3*	*P4*	*P5*	*P6*	*P7*	*P8*	*P9*	*P10*	*P11*	*P12*	
P1	**0**	**312**	**88**	**217**	**21**	**85**	**52**	**8**	**16**	**22**	**8**	**33**	860
P2	**288**	**0**	**31**	**78**	**7**	**30**	**17**	**3**	**5**	**7**	**2**	**11**	480
P3	**88**	**34**	**0**	**22**	**3**	**9**	**5**	**1**	**1**	**2**	**1**	**3**	168
P4	**81**	**30**	**8**	**0**	**16**	**65**	**41**	**6**	**12**	**17**	**6**	**25**	307
P5	**92**	**34**	**9**	**13**	**0**	**74**	**46**	**7**	**14**	**19**	**7**	**29**	344
P6	**84**	**32**	**9**	**10**	**17**	**0**	**42**	**6**	**12**	**18**	**6**	**27**	261
P7	**101**	**36**	**9**	**94**	**21**	**90**	**0**	**126**	**251**	**355**	**143**	**564**	1788
P8	**2**	**0**	**0**	**6**	**0**	**1**	**14**	**0**	**4**	**6**	**2**	**10**	46
P9	**9**	**3**	**1**	**16**	**2**	**8**	**84**	**14**	**0**	**37**	**14**	**58**	245
P10	**23**	**8**	**2**	**31**	**5**	**20**	**201**	**31**	**63**	**0**	**35**	**142**	560
P11	**5**	**2**	**0**	**46**	**1**	**6**	**72**	**11**	**22**	**31**	**0**	**597**	793
P12	**23**	**8**	**2**	**75**	**5**	**24**	**272**	**42**	**84**	**118**	**532**	**0**	1186
	796	498	158	608	97	411	847	253	485	631	755	1497	**7038**

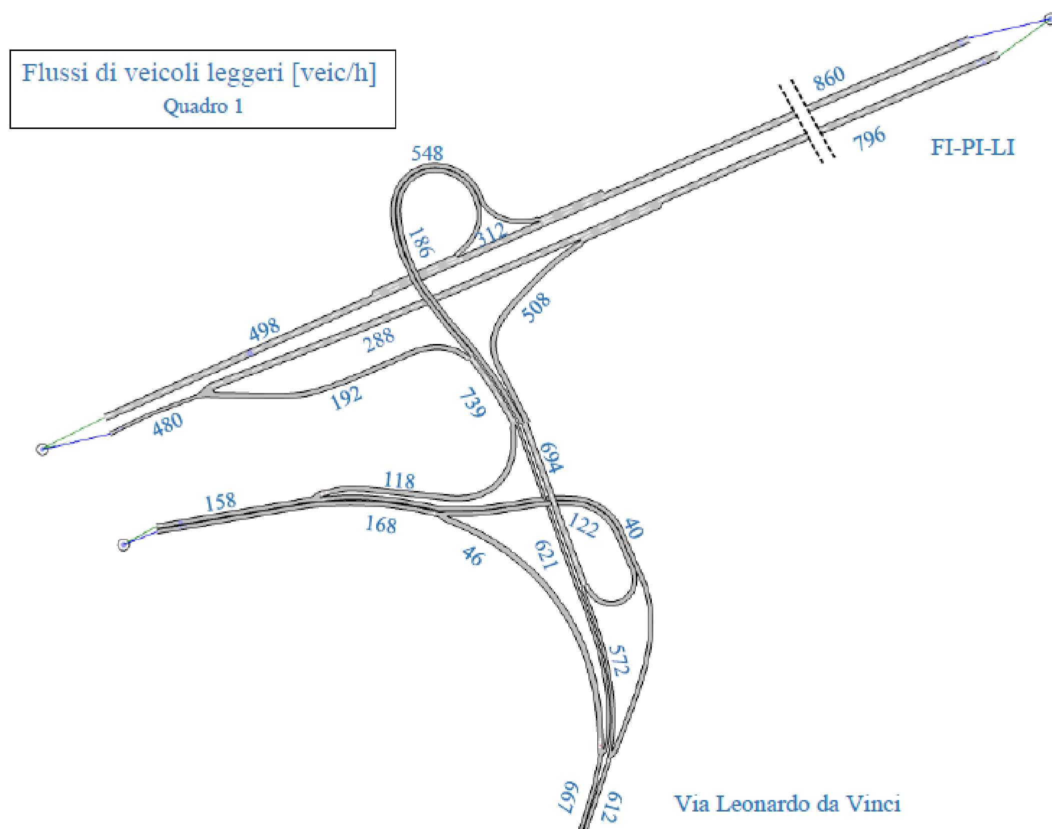
Matrice veicoli pesanti

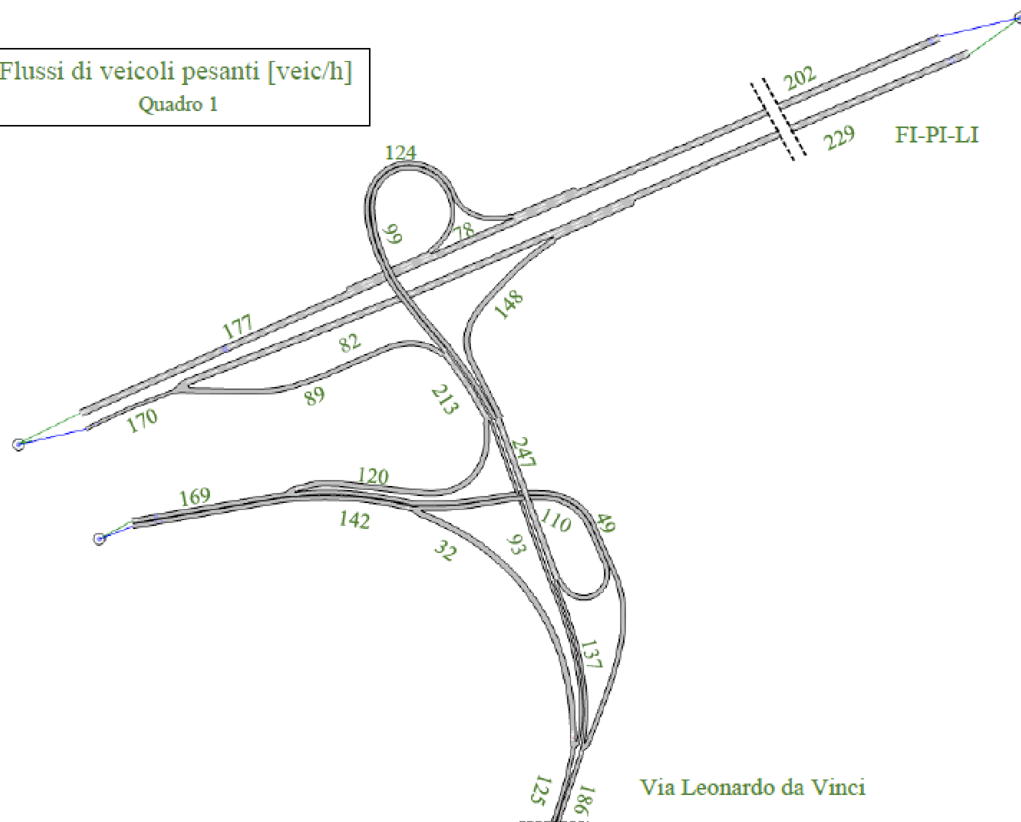
Centroide	*P1*	*P2*	*P3*	*P4*	*P5*	*P6*	*P7*	*P8*	*P9*	*P10*	*P11*	*P12*	
P1	**0**	**78**	**70**	**37**	**1**	**7**	**2**	**1**	**1**	**2**	**1**	**1**	202
P2	**82**	**0**	**50**	**27**	**1**	**5**	**2**	**1**	**1**	**1**	**0**	**1**	170
P3	**65**	**45**	**0**	**22**	**1**	**4**	**1**	**1**	**1**	**1**	**0**	**1**	142
P4	**48**	**33**	**29**	**0**	**9**	**48**	**17**	**10**	**7**	**16**	**4**	**9**	230
P5	**1**	**1**	**1**	**1**	**0**	**2**	**1**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	8
P6	**20**	**14**	**12**	**6**	**4**	**0**	**6**	**4**	**3**	**7**	**2**	**4**	81
P7	**5**	**3**	**3**	**14**	**1**	**6**	**0**	**29**	**22**	**46**	**13**	**25**	168
P8	**1**	**1**	**1**	**6**	**0**	**1**	**13**	**0**	**6**	**12**	**4**	**7**	52
P9	**1**	**1**	**1**	**5**	**0**	**1**	**9**	**5**	**0**	**9**	**2**	**5**	38
P10	**2**	**1**	**1**	**6**	**0**	**2**	**15**	**9**	**7**	**0**	**4**	**9**	55
P11	**1**	**1**	**0**	**5**	**0**	**1**	**7**	**4**	**4**	**7**	**0**	**31**	61
P12	**2**	**1**	**1**	**9**	**1**	**3**	**19**	**11**	**9**	**19**	**44**	**0**	119
	229	177	169	139	19	80	92	76	59	120	75	91	**1327**

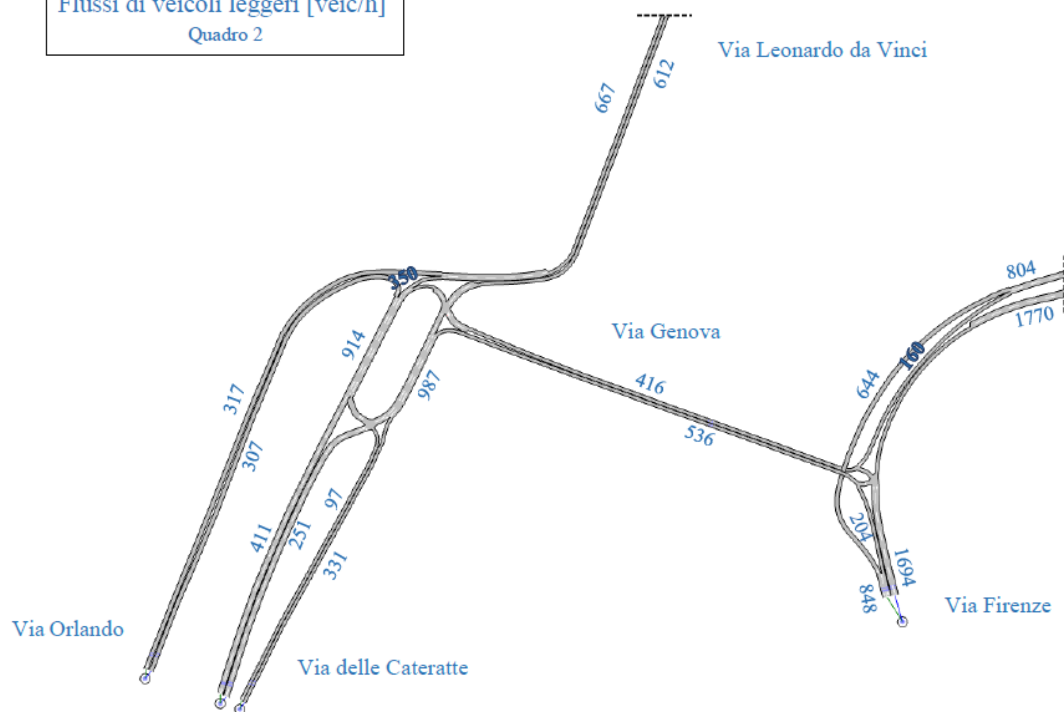
Matrice veicoli complessivi

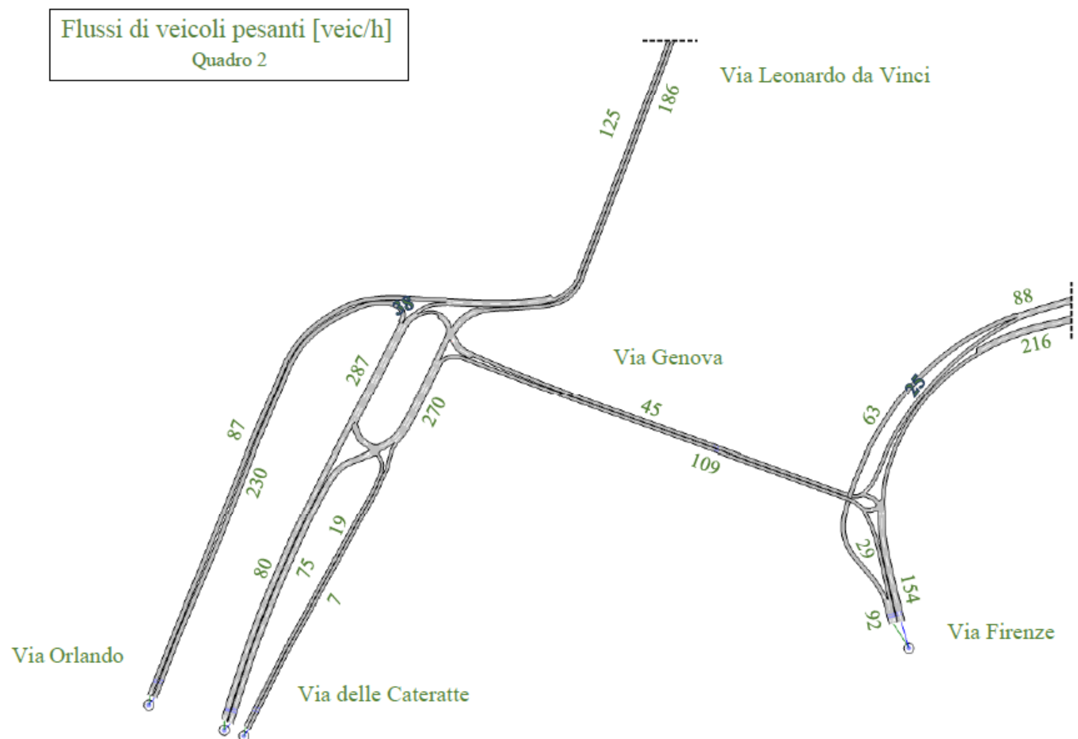
Centroide	*P1*	*P2*	*P3*	*P4*	*P5*	*P6*	*P7*	*P8*	*P9*	*P10*	*P11*	*P12*	
P1	**0**	**468**	**228**	**291**	**23**	**99**	**56**	**10**	**18**	**26**	**10**	**35**	1264
P2	**452**	**0**	**131**	**132**	**9**	**40**	**21**	**5**	**7**	**9**	**2**	**13**	820
P3	**218**	**124**	**0**	**66**	**5**	**17**	**7**	**3**	**3**	**4**	**1**	**5**	452
P4	**177**	**96**	**66**	**0**	**34**	**161**	**75**	**26**	**26**	**49**	**14**	**43**	767
P5	**94**	**36**	**11**	**15**	**0**	**78**	**48**	**7**	**14**	**21**	**7**	**29**	360
P6	**124**	**60**	**33**	**22**	**25**	**0**	**54**	**14**	**18**	**32**	**10**	**35**	423
P7	**111**	**42**	**15**	**122**	**23**	**102**	**0**	**184**	**295**	**447**	**169**	**614**	2124
P8	**4**	**2**	**2**	**18**	**0**	**3**	**40**	**0**	**16**	**30**	**10**	**24**	150
P9	**11**	**5**	**3**	**26**	**2**	**10**	**102**	**24**	**0**	**55**	**18**	**68**	321
P10	**27**	**10**	**4**	**43**	**5**	**24**	**231**	**49**	**77**	**0**	**43**	**160**	670
P11	**7**	**4**	**0**	**56**	**1**	**8**	**86**	**19**	**30**	**45**	**0**	**659**	915
P12	**27**	**10**	**4**	**93**	**7**	**30**	**310**	**64**	**102**	**156**	**620**	**0**	1424
	1254	852	496	886	135	571	1031	405	603	871	905	1679	**9692**

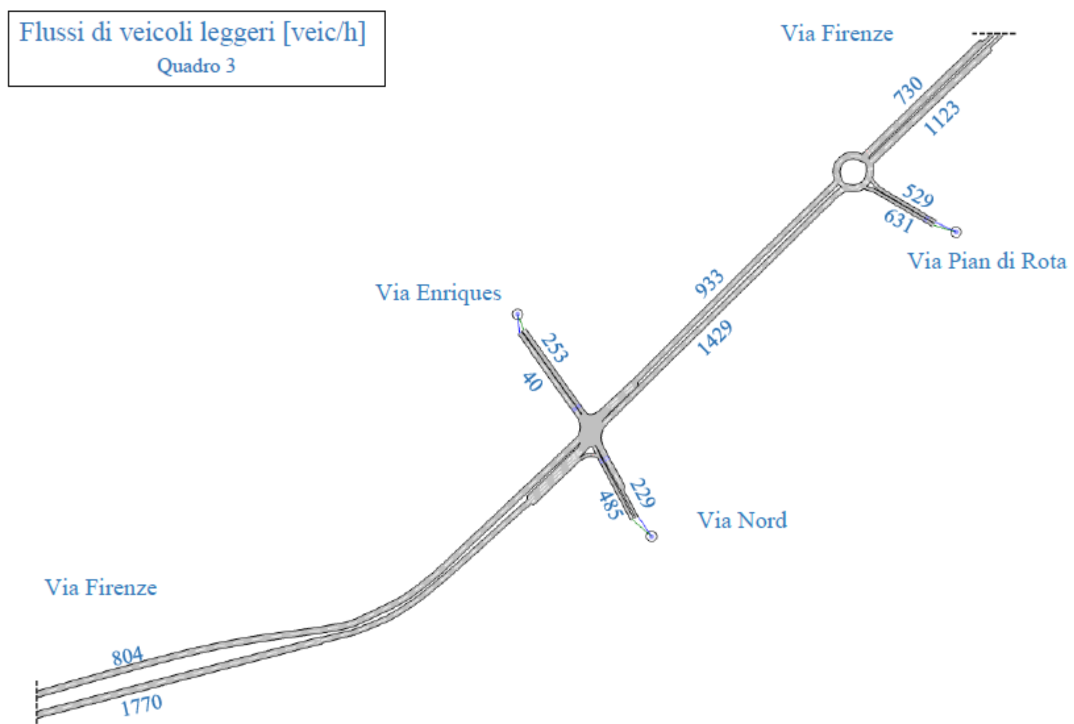
Inoltre sono riportati anche i flussi ricavati per i vari quadri del modello:



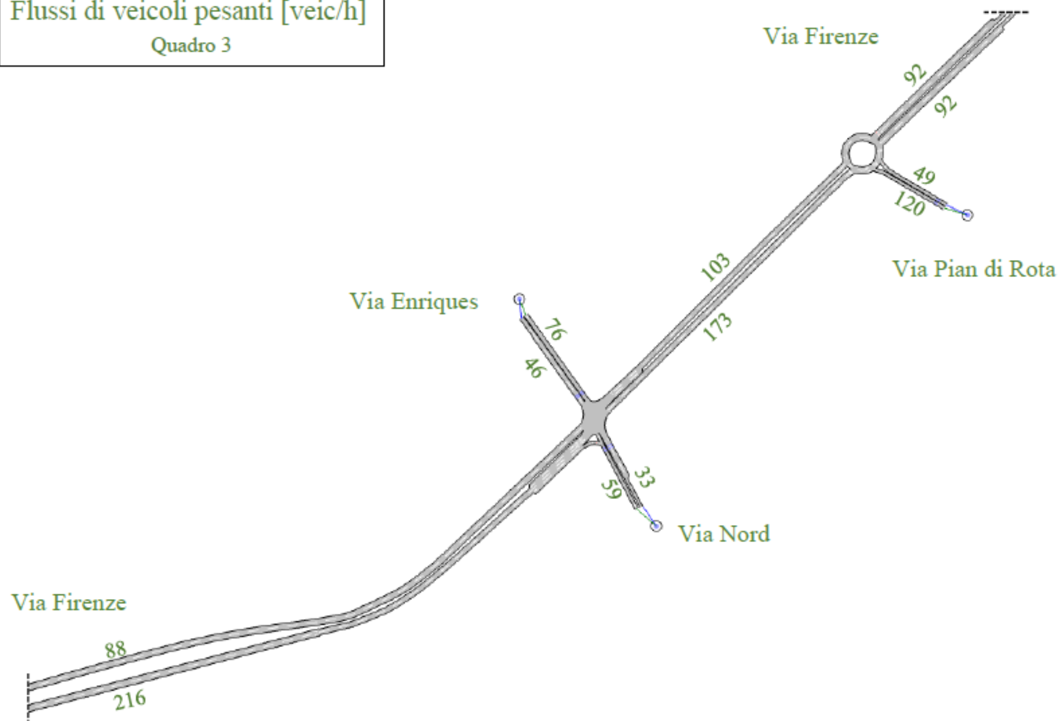

Flussi di veicoli pesanti [veic/h]
Quadro 1
FI-PI-LI
Via Leonardo da Vinci
202
229
124
99
78
148
177
82
89
170
213
247
120
169
142
110
49
32
93
137
125
186


Flussi di veicoli leggeri [veic/h]
Quadro 2
Via Leonardo da Vinci
667
612
Via Genova
914
987
416
536
317
307
411
251
97
331
804
1770
644
204
1694
848
Via Orlando
Via delle Cateratte
Via Firenze

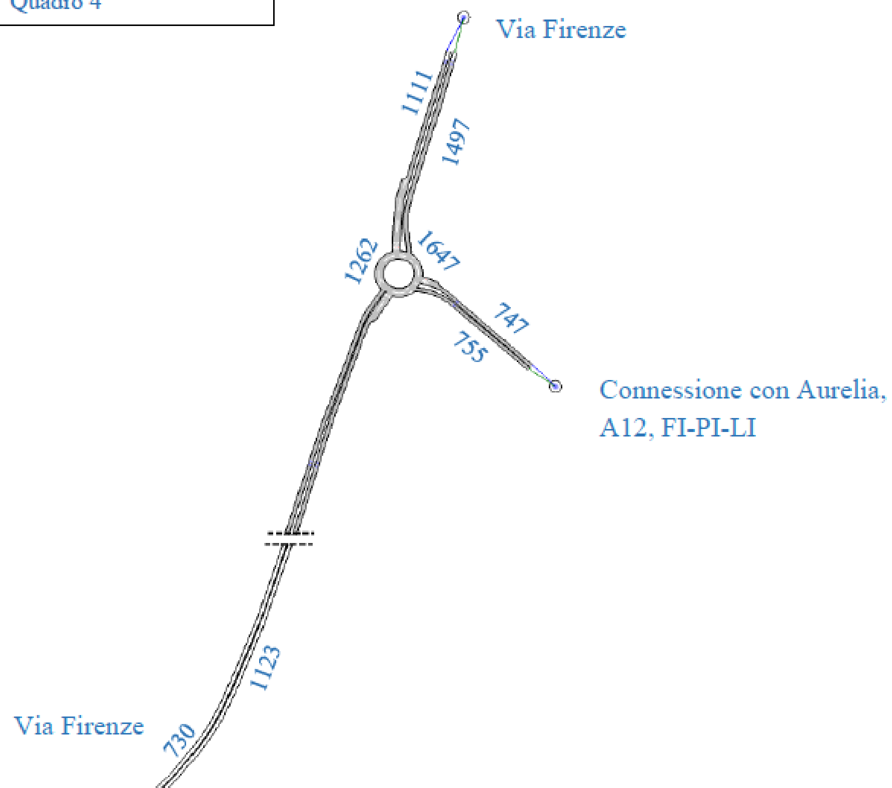

Flussi di veicoli pesanti [veic/h]
Quadro 2
Via Leonardo da Vinci
125
186
Via Genova
45
109
88
216
63
287
270
87
230
19
80
75
7
29
154
92
Via Orlando
Via delle Cateratte
Via Firenze

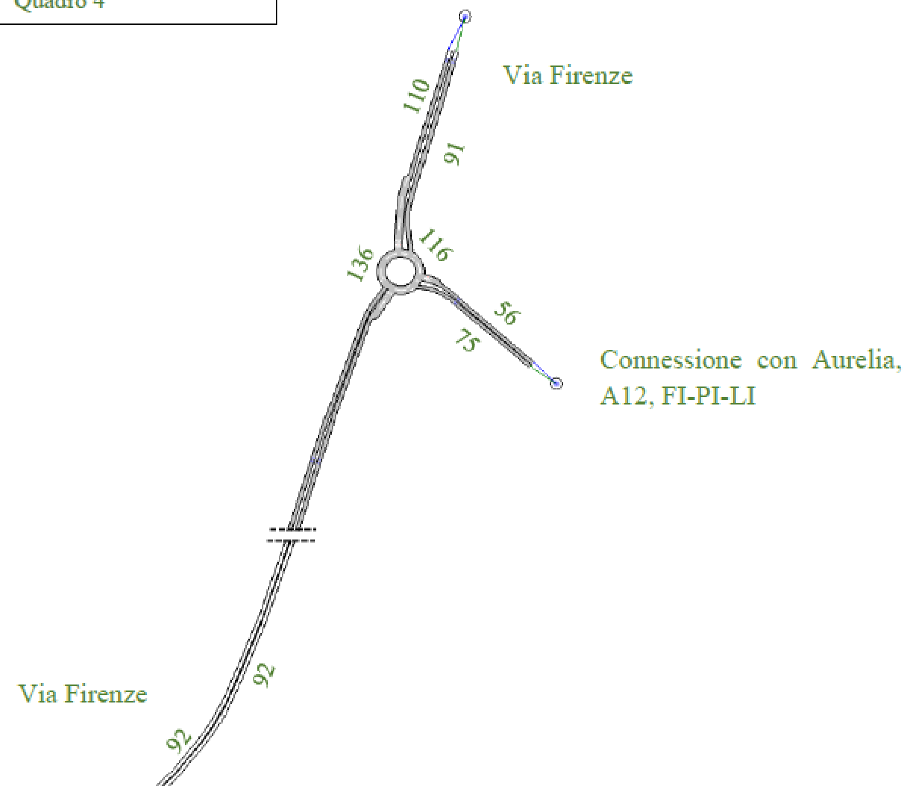

Flussi di veicoli leggeri [veic/h]
Quadro 3
Via Firenze
730
1123
529
631
Via Pian di Rota
Via Enriques
933
1429
253
40
229
485
Via Nord
Via Firenze
804
1770

Flussi di veicoli pesanti [veic/h]
Quadro 3



Flussi di veicoli leggeri [veic/h]
Quadro 4





2.3.3. Calibrazione e validazione del modello

La calibrazione del modello è stata ottenuta confrontando le misure di traffico, rilevate e stimate, di alcuni archi interni alla rete:

- Via L. da Vinci
- Via Genova
- Via Firenze

Con lo stesso metodo visto nel paragrafo 2.2.2. sono state calcolate le portate di questi punti che si riportano nella tabella seguente:

Valori Rilevati

	Veicoli Leggeri		Veicoli Pesanti	
	Sud	Nord	Sud	Nord
Via L. da Vinci	712	566	128	172
	Est	Ovest	Est	Ovest
Via Genova	672	280	132	20
	Sud	Nord	Sud	Nord
Via Firenze	648	1204	108	60

Sono stati necessari numerosi tentativi prima di riuscire a trovare i valori dei parametri del programma che permettessero una calibrazione soddisfacente. Nella figura 6 sono riportati i soli parametri modificati rispetto allo stato di default:

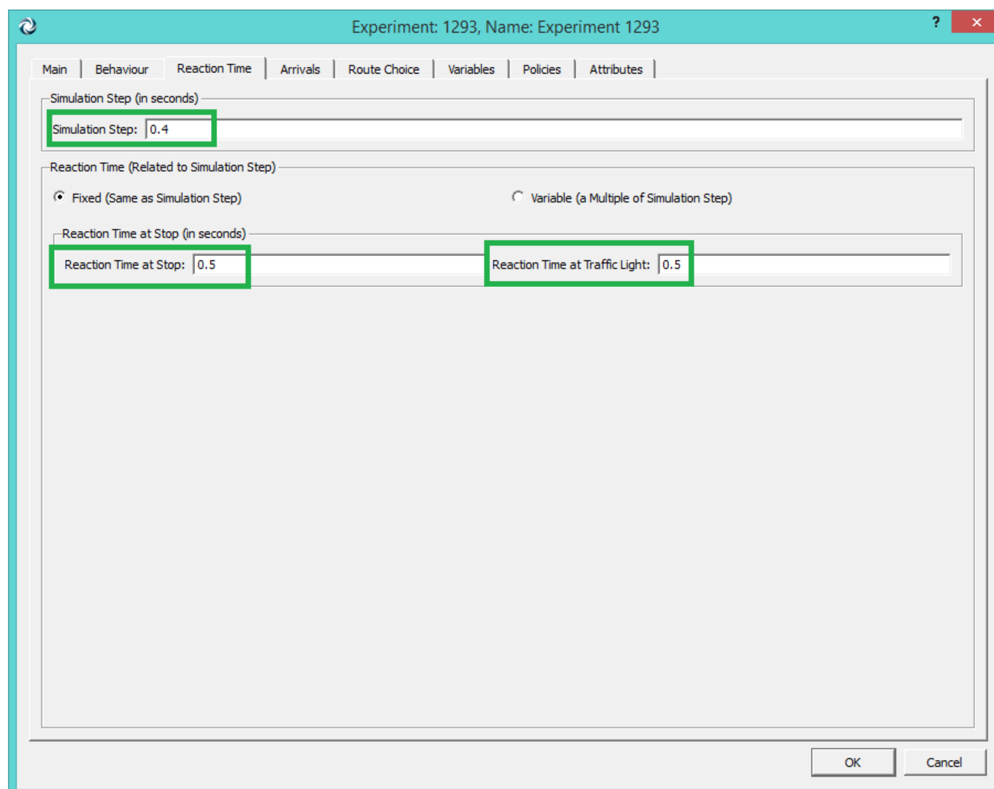


Figura 6: parametri dei tempi di reazione

Si esegue quindi l'esperimento composto da quattordici simulazioni, e quando ogni simulazione è stata eseguita si richiede al programma di calcolare l'average, vale a dire di ricavare i valori globali dell'esperimento, che sono riportati nella tabella seguente:

Valori Stimati

	Veicoli Leggeri		Veicoli Pesanti	
	Sud	Nord	Sud	Nord
Via L. da Vinci	655	613	121	183
	Est	Ovest	Est	Ovest
Via Genova	550	440	113	43
	Sud	Nord	Sud	Nord
Via Firenze	734	1087	92	88

I risultati ricavati si pongono a confronto con i risultati rilevati per determinare gli indici di discrepanza e validare il modello. I risultati del confronto sono riportati nella tabella seguente:

		Veicoli leggeri		Veicoli pesanti	
		Y (osservato)	X (da Aimsun™)	Y (osservato)	X (da Aimsun™)
Via L. da Vinci	Sud	712	655	128	121
	Nord	566	613	172	183
Via Genova	Est	672	550	132	113
	Ovest	280	440	20	43
Via Firenze	Sud	648	734	108	92
	Nord	1204	1087	60	88
	RMSPE	**0,15<0,20**		**0,18<0,20**	
	r	**0,94>0,80**		**0,93>0,80**	
	U	**0,07<0,3**		**0,08<0,30**	

Si può vedere che i valori limite sono tutti rispettati, in misura più o meno segnata. Pertanto si può ritenere che il modello di Aimsun™ sia calibrato e validato.

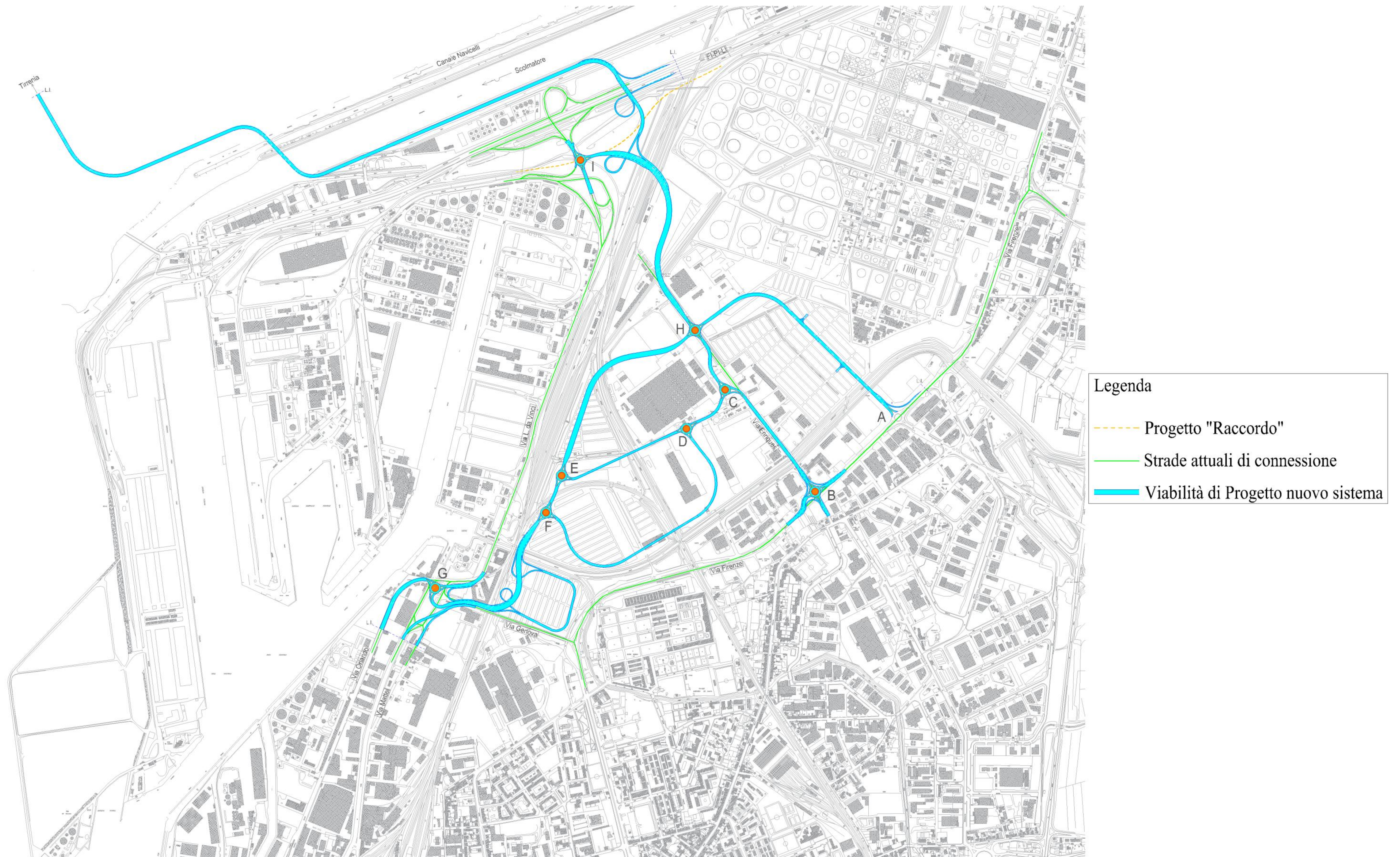
3. Progetto di una nuova rete viaria a Nord-Ovest del porto di Livorno

3.1 La nuova rete

La viabilità del nuovo sistema è stata realizzata con lo scopo di :

- Creare due direttrici di traffico, una per il traffico industriale diretto al porto e una per il traffico urbano diretto a Tirrenia.
- Valorizzare le attività che hanno la loro sede nella zona Nord-Ovest del porto di Livorno migliorando i collegamenti.
- Spostare il limite portuale, che ad oggi coincide con via L. da Vinci, ampliando la zona retroportuale.

Nella figura seguente è rappresentato il modello della rete di progetto del nuovo sistema:


Legenda
Progetto "Raccordo"
Strade attuali di connessione
Viabilità di Progetto nuovo sistema
Tirrenia
Canale Navicelli
Scolmatore
A
B
C
D
E
F
G
H
I
Via Firenze
Via Genova
Via L. da Vinci
Via Enriques
Via Mattei

Per poter raggiungere gli scopi sopra elencati sono state ipotizzate alcune modifiche alla rete attuale:

- Nel nodo G è stata inserita una rotatoria che divide la viabilità ora esistente destinando le strade di via Orlando e di via L. da Vinci al traffico industriale e le strade di via Mattei e di via Genova al traffico urbano.
- Destinando il ponte di via Genova al solo traffico urbano è stato necessario ipotizzare, per il traffico industriale, una nuova direttrice che collegasse il nodo G a via Firenze. Questo è stato ottenuto con l'inserimento di un arco viario dal nodo G al nodo H, che permette di collegarsi a via Enriques attraverso un nuovo ponte parallelo a quello già esistente in via Genova.
- Inoltre con l'inserimento dell'arco G-H si è potuto realizzare una nuova rete suburbana che valorizza le zone prima poco servite.
- Queste modifiche apportate alla rete fanno sorgere il problema di connettere sia il traffico urbano che dalla città di Livorno si dirige verso Tirrenia, sia il traffico industriale proveniente dalla variante Aurelia e dalla raffineria diretto verso il porto. Il problema viene risolto con il prolungamento di via Enriques che dal nodo H, dopo aver scavalcato la ferrovia con un ponte, da una parte colleghi con un nuovo arco viario il traffico urbano a Tirrenia e dall'altra colleghi attraverso una rotatoria aerea nel nodo I il traffico industriale alla FI-PI-LI e alla zona portuale.
- Per alleggerire una buona parte di via Firenze dal traffico industriale e valorizzare le zone adiacenti alla raffineria adesso abbandonate, è prevista la realizzazione di un nuovo arco viario che colleghi la

rotatoria già esistente nel nodo A al nodo H mentre nel nodo B, tra via Firenze e via Enriques, è previsto l'inserimento di una rotatoria al posto dell'intersezione semaforica.

3.1.1. Modello del nuovo scenario

Partendo dal modello dello stato attuale, in base alle modifiche espresse nel paragrafo precedente, è stata creata su Aimsun™ la nuova rete (figura 7):

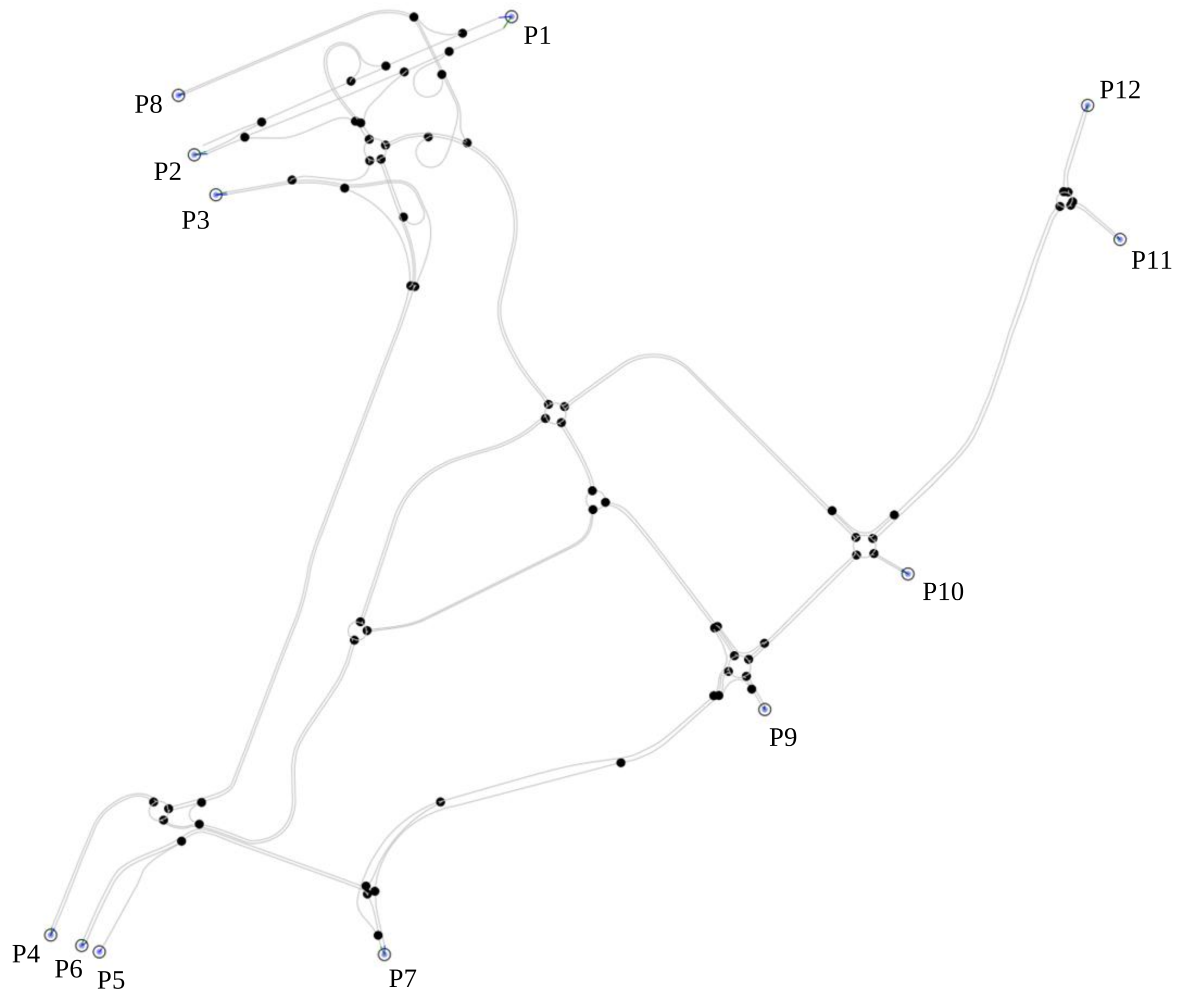


Figura 7: modello della rete di progetto

3.1.2. Ridistribuzione flussi di traffico

Per effettuare la ridistribuzione dei flussi veicolari nella nuova rete è stato necessario partire dalle matrici O/D utilizzate nella simulazione su Aimsun™ della rete attuale presenti nel paragrafo 2.3.2..

Da queste matrici si ottengono i flussi di traffico entranti e uscenti dello stato attuale, riportati di seguito:

Flussi di traffico entranti e uscenti della rete stato attuale dei veicoli leggeri (uvp/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	862	796
P2	FI-PI-LI (Ovest)	479	499
P3	Via L. da Vinci (porto)	169	159
P4	Via Orlando	307	608
P5	Via Cateratte	344	98
P6	Via Mattei	263	412
P7	Via Firenze (sud)	1790	846
P8	Via Enriques	45	255
P9	Via Nord	246	484
P10	Via Pian di Rota	561	632
P11	Connessione Aurelia	793	756
P12	Via Firenze (nord)	1185	1499
	TOTALE	**7044**	**7044**

Flussi di traffico entranti e uscenti della rete stato attuale dei veicoli pesanti (veic/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	201	228
P2	FI-PI-LI (Ovest)	171	179
P3	Via L. da Vinci (porto)	142	169
P4	Via Orlando	230	138
P5	Via Cateratte	8	18
P6	Via Mattei	82	80
P7	Via Firenze (sud)	167	92
P8	Via Enriques	52	75
P9	Via Nord	39	61
P10	Via Pian di Rota	56	121
P11	Connessione Aurelia	61	74
P12	Via Firenze (nord)	119	93
	TOTALE	**1328**	**1328**

Per poter ridistribuire questi flussi nella nuova rete è stato necessario fare delle ipotesi:

- Per i veicoli leggeri
    1. Come conseguenza del prolungamento di via Enriques il suo centroide sparisce per cui tutto il flusso dei veicoli leggeri entrante e uscente da questo è ridistribuito negli altri centroidi, in modo percentuale in base ai loro flussi.
    2. Come conseguenza della divisione del traffico industriale da quello urbano nel nodo G, l'85% dei veicoli leggeri uscenti ed entranti da via Orlando sono stati ridistribuiti, in via Mattei e in via delle Cateratte, in modo percentuale in base ai loro flussi.
    3. Diventando via delle Cateratte ad unico senso di marcia, entrante nella rete, il flusso uscente da questa è stato aggiunto al flusso uscente da via Mattei.
    4. Avendo creato una nuova via per Tirrenia l'85% del traffico urbano che prima uscivano dal nodo FI-PI-LI (ovest) per andare in questa direzione è stato spostato nel nuovo nodo "Nuova via per Tirrenia".

- Per i veicoli pesanti
    1. Come conseguenza del prolungamento di via Enriques il suo centroide sparisce per cui tutto il flusso dei veicoli pesanti entrante e uscente da questo è ridistribuito negli altri centroidi, in modo percentuale in base ai loro flussi.
    2. Come conseguenza della divisione del traffico industriale da quello urbano nel nodo G, tutti i veicoli pesanti uscenti ed entranti da via Mattei e Via delle Cateratte sono stati aggiunti al flusso uscente ed entrante in via Orlando.

Di seguito si riportano i valori dei flussi di traffico entranti e uscenti della rete di progetto:

Flussi di traffico entranti e uscenti della rete di progetto dei veicoli leggeri (uvp/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	867	826
P2	FI-PI-LI (Ovest)	72	78
P3	Via L. da Vinci (porto)	170	165
P4	Via Orlando	48	95
P5	Via Cateratte	494	0
P6	Via Mattei	378	1065
P7	Via Firenze (sud)	1801	878
P8	Nuova via per Tirrenia	410	440
P9	Via Nord	248	502
P10	Via Pian di Rota	565	656
P11	Connessione Aurelia	798	784
P12	Via Firenze (nord)	1193	1555
	TOTALE	**7044**	**7044**

Flussi di traffico entranti e uscenti della rete di progetto dei veicoli pesanti (veic/ora)			
Centroide		Entranti	Uscenti
P1	FI-PI-LI (Est)	209	241
P2	FI-PI-LI (Ovest)	178	190
P3	Via L. da Vinci (porto)	148	179
P4	Via Orlando	333	250
P5	Via Cateratte	0	0
P6	Via Mattei	0	0
P7	Via Firenze (sud)	174	98
P8	Nuova via per Tirrenia	0	0
P9	Via Nord	41	65
P10	Via Pian di Rota	58	128
P11	Connessione Aurelia	63	78
P12	Via Firenze (nord)	124	99
	TOTALE	**1328**	**1328**

3.1.3. Determinazione matrice O/D

Le matrici O/D del nuovo scenario sono state ricavate con lo stesso procedimento visto nel capito 2.2.4.. Si riportano di seguito le iterazione e le matrici finali dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti calcolate separatamente.

- Matrice O/D veicoli leggeri

"Iterazione 0"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	10	21	12	0	139	145	58	64	88	109	230	875	8
P2	10	0	2	1	0	12	12	5	5	7	9	19	81	9
P3	23	2	0	2	0	27	28	11	13	17	21	45	190	20
P4	6	1	1	0	0	8	8	3	4	5	6	13	54	6
P5	66	6	12	7	0	79	83	33	36	50	62	131	564	70
P6	51	4	9	5	0	0	63	25	28	38	47	100	371	-7
P7	241	20	43	24	0	288	0	119	133	182	226	479	1756	-45
P8	55	5	10	6	0	66	69	0	30	42	51	109	441	31
P9	33	3	6	3	0	40	42	16	0	25	31	66	265	17
P10	76	6	14	8	0	90	95	37	42	0	71	150	588	23
P11	107	9	19	11	0	127	134	53	59	81	0	212	812	14
P12	160	13	29	16	0	191	200	79	88	121	150	0	1046	-147
Σ colonna →	826	78	165	95	0	1065	878	440	502	656	784	1555		
Δu,j →	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Test di Arresto: 0,14 <0,01 **NON VERIFICA**

"Iterazione 1"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	10	21	12	0	137	144	57	63	87	108	228	867	0
P2	9	0	2	1	0	10	11	4	5	6	8	17	72	0
P3	20	2	0	2	0	24	25	10	11	15	19	40	170	0
P4	6	0	1	0	0	7	7	3	3	4	5	11	48	0
P5	58	5	10	6	0	69	72	29	32	44	54	115	494	0
P6	51	4	9	5	0	0	64	26	28	39	48	102	378	0
P7	247	21	44	25	0	295	0	123	136	187	232	491	1801	0
P8	51	4	9	5	0	61	64	0	28	39	48	101	410	0
P9	31	3	6	3	0	37	39	15	0	23	29	62	248	0
P10	73	6	13	7	0	87	91	36	40	0	68	144	565	0
P11	105	9	19	11	0	125	131	52	58	79	0	209	798	0
P12	182	15	33	18	0	217	228	90	101	138	171	0	1193	0
Σ colonna →	832	79	166	96	0	1070	877	445	506	662	791	1521		
Δu,j →	6	1	1	1	0	5	-1	5	4	6	7	-34		

Test di Arresto: 0,02 <0,01 **NON VERIFICA**

"Iterazione 2"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	10	20	12	0	136	144	56	63	86	107	233	867	0
P2	8	0	2	1	0	10	11	4	5	6	8	17	72	0
P3	20	2	0	2	0	24	25	10	11	15	19	41	169	-1
P4	6	0	1	0	0	7	7	3	3	4	5	12	48	0
P5	57	5	10	6	0	69	72	28	32	43	54	117	493	-1
P6	51	4	9	5	0	0	64	25	28	39	48	104	377	-1
P7	245	21	44	25	0	294	0	121	135	185	230	502	1802	1
P8	50	4	9	5	0	60	64	0	28	38	47	104	409	-1
P9	31	3	6	3	0	37	39	15	0	23	29	63	249	1
P10	72	6	13	8	0	86	91	36	40	0	67	147	566	1
P11	104	9	19	11	0	125	131	51	57	79	0	213	799	1
P12	182	15	33	18	0	218	230	90	100	137	170	0	1193	0
Σ colonna →	826	79	166	96	0	1066	878	439	502	655	784	1553		
Δu,j →	0	1	1	1	0	1	0	-1	0	-1	0	-2		

Test di Arresto: 0,006 <0,01 **VERIFICA**

- Matrice O/D veicoli pesanti

"Iterazione 0"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	35	32	53	0	0	18	0	11	21	13	17	198	-11
P2	38	0	27	45	0	0	15	0	9	18	11	15	178	0
P3	32	24	0	37	0	0	13	0	7	15	9	12	150	2
P4	72	55	51	0	0	0	28	0	17	34	21	27	304	-29
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	37	29	26	44	0	0	0	0	9	18	11	14	188	14
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	9	7	6	10	0	0	3	0	0	4	3	3	46	5
P10	12	10	9	15	0	0	5	0	3	0	4	5	62	4
P11	14	10	10	16	0	0	5	0	3	6	0	5	69	6
P12	27	20	19	31	0	0	11	0	6	12	8	0	134	10
Σ colonna →	241	190	179	250	0	0	98	0	65	128	78	99		
Δu,j →	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Test di Arresto: 0,102 <0,01 **NON VERIFICA**

"Iterazione 1"

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	36	33	55	0	0	19	0	11	22	14	18	209	0
P2	38	0	27	45	0	0	15	0	9	18	11	15	178	0
P3	31	24	0	37	0	0	12	0	7	15	9	12	148	0
P4	79	60	55	0	0	0	31	0	18	37	23	30	333	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	35	27	24	41	0	0	0	0	8	16	10	13	174	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	8	6	6	9	0	0	3	0	0	4	2	3	41	0
P10	12	9	8	14	0	0	5	0	3	0	3	4	58	0
P11	12	9	9	14	0	0	5	0	3	6	0	5	63	0
P12	25	19	17	29	0	0	10	0	6	12	7	0	124	0

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Σ colonna →	240	191	180	244	0	0	100	0	66	129	79	100
Δu,j →	-1	1	1	-6	0	0	2	0	1	1	1	1

Test di Arresto: 0,026 <0,01 **NON VERIFICA**

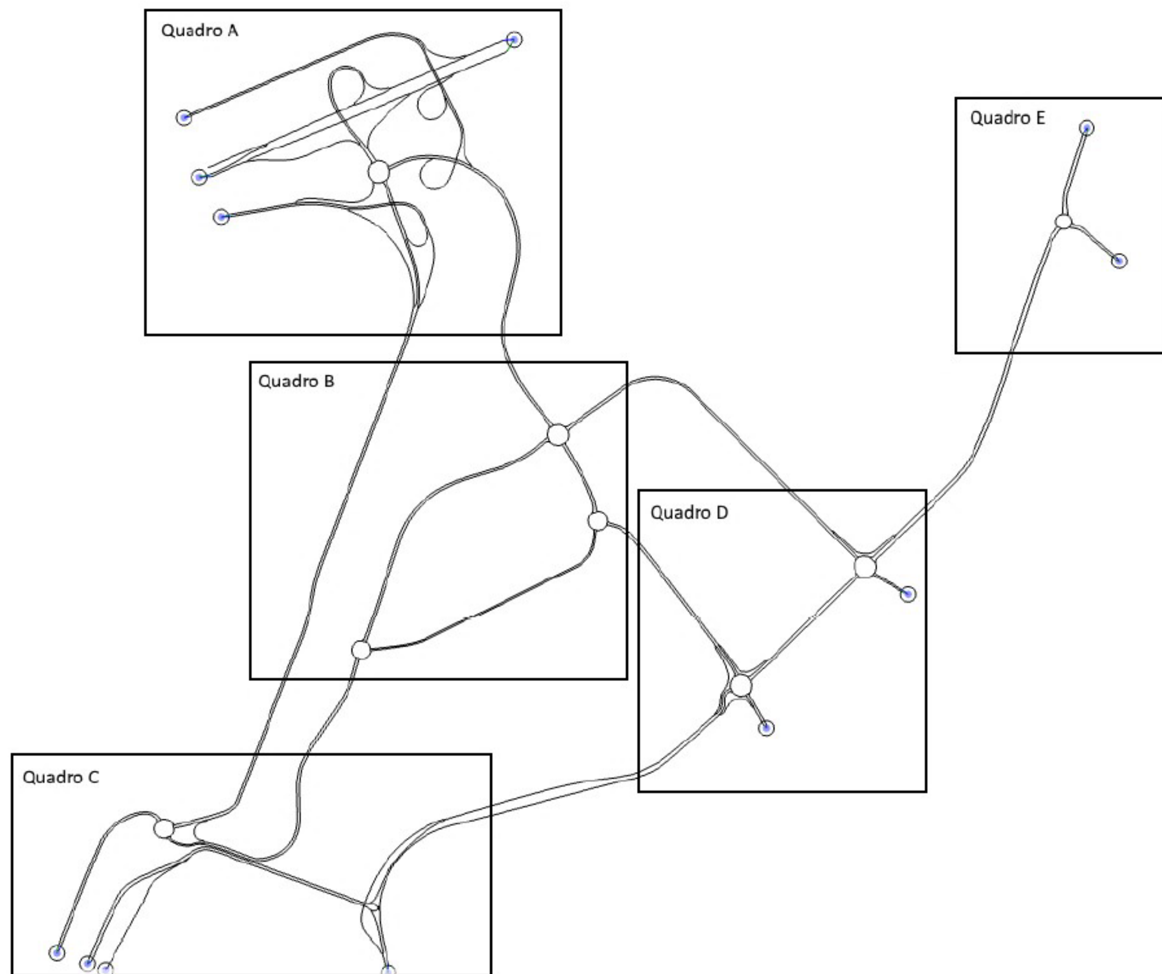
"Iterazione 2"

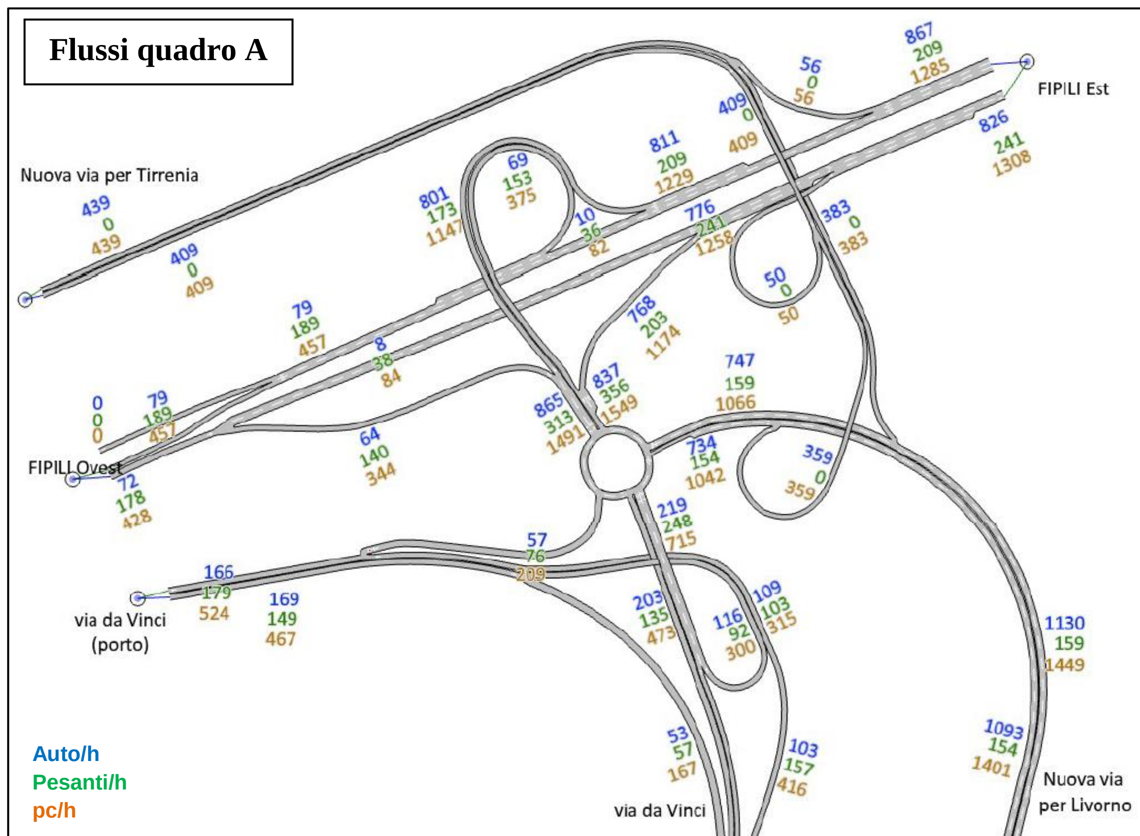
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Σ Riga ↓	Δe,i ↓
P1	0	36	33	57	0	0	18	0	11	22	14	18	209	0
P2	38	0	27	46	0	0	15	0	9	18	11	14	178	0
P3	32	24	0	38	0	0	12	0	7	15	9	12	149	1
P4	79	60	55	0	0	0	31	0	18	37	22	30	332	-1
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	35	26	24	41	0	0	0	0	8	16	10	13	173	-1
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	8	6	6	9	0	0	3	0	0	4	2	3	41	0
P10	12	9	8	14	0	0	5	0	3	0	3	4	58	0
P11	12	9	9	14	0	0	5	0	3	6	0	5	63	0
P12	25	19	17	30	0	0	9	0	6	11	7	0	124	0
Σ colonna →	241	189	179	249	0	0	98	0	65	129	78	99		
Δu,j →	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0		

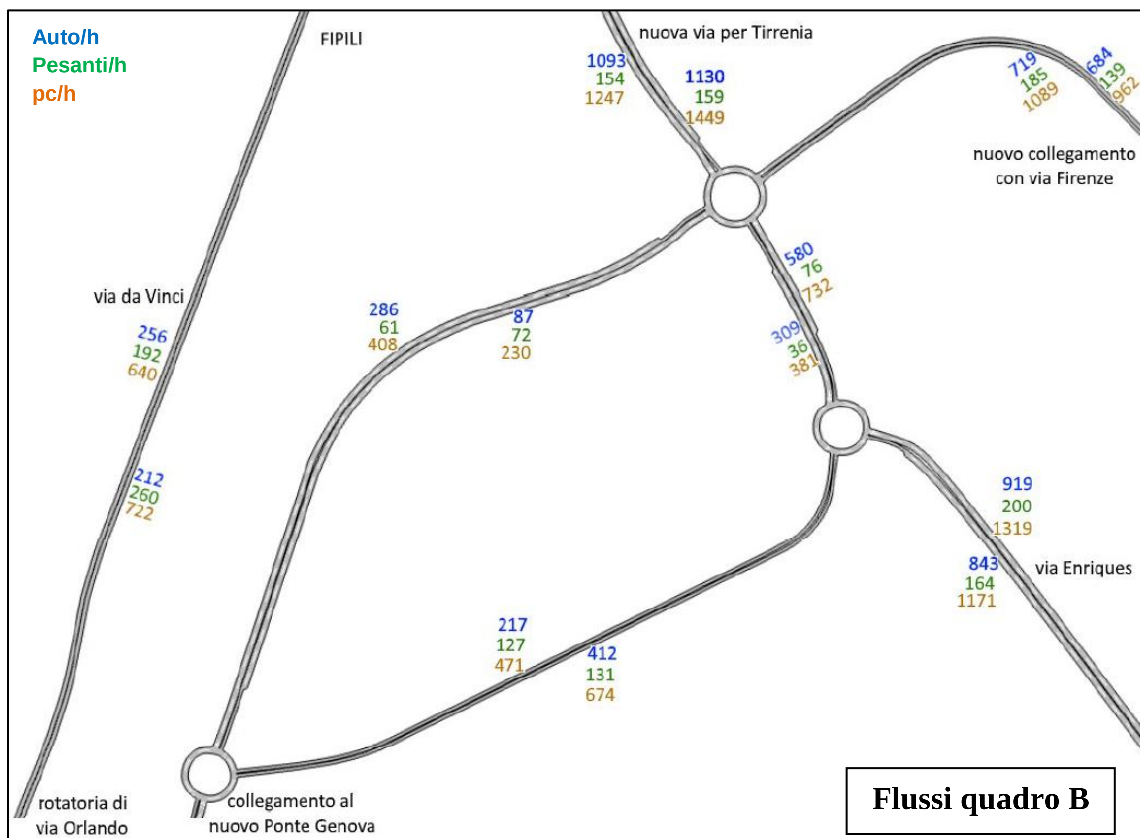
Test di Arresto: 0,008 <0,01 **VERIFICA**

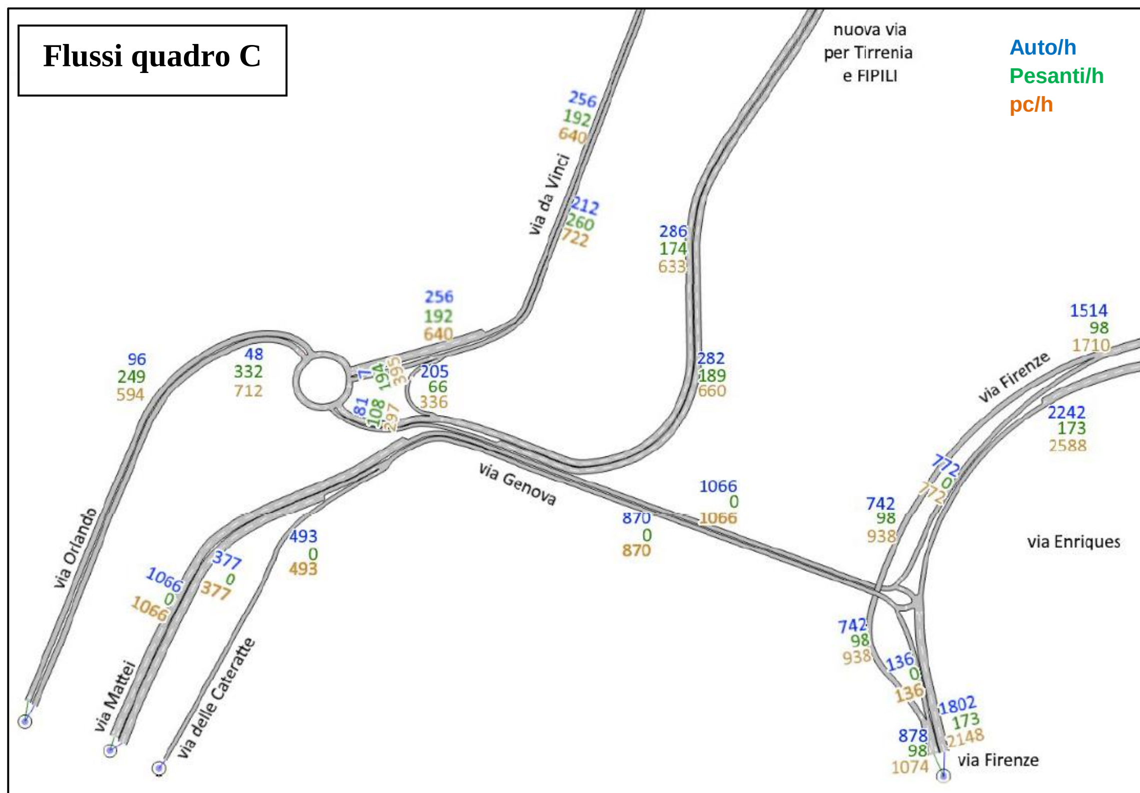
3.1.4. Flussi di traffico nel nuovo scenario

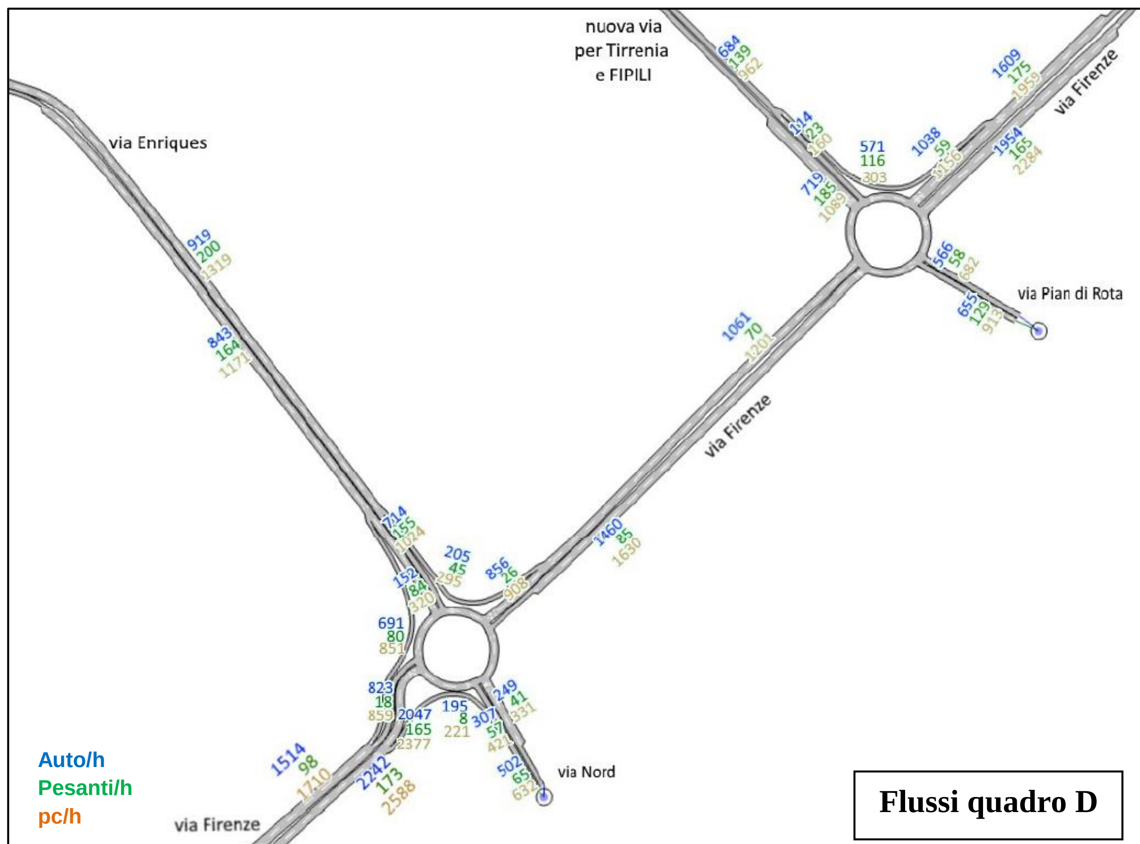
A questo punto le matrici trovate nel paragrafo precedente vengono inserite in Aimsun™ che, utilizzando l'algoritmo di Frank e Wolfe, ha determinato la distribuzione dei flussi negli archi della rete in condizioni di equilibrio deterministico, per i soli veicoli leggeri e i soli veicoli pesanti.
Di seguito sono riportati i flussi ricavati per i vari quadri del modello:

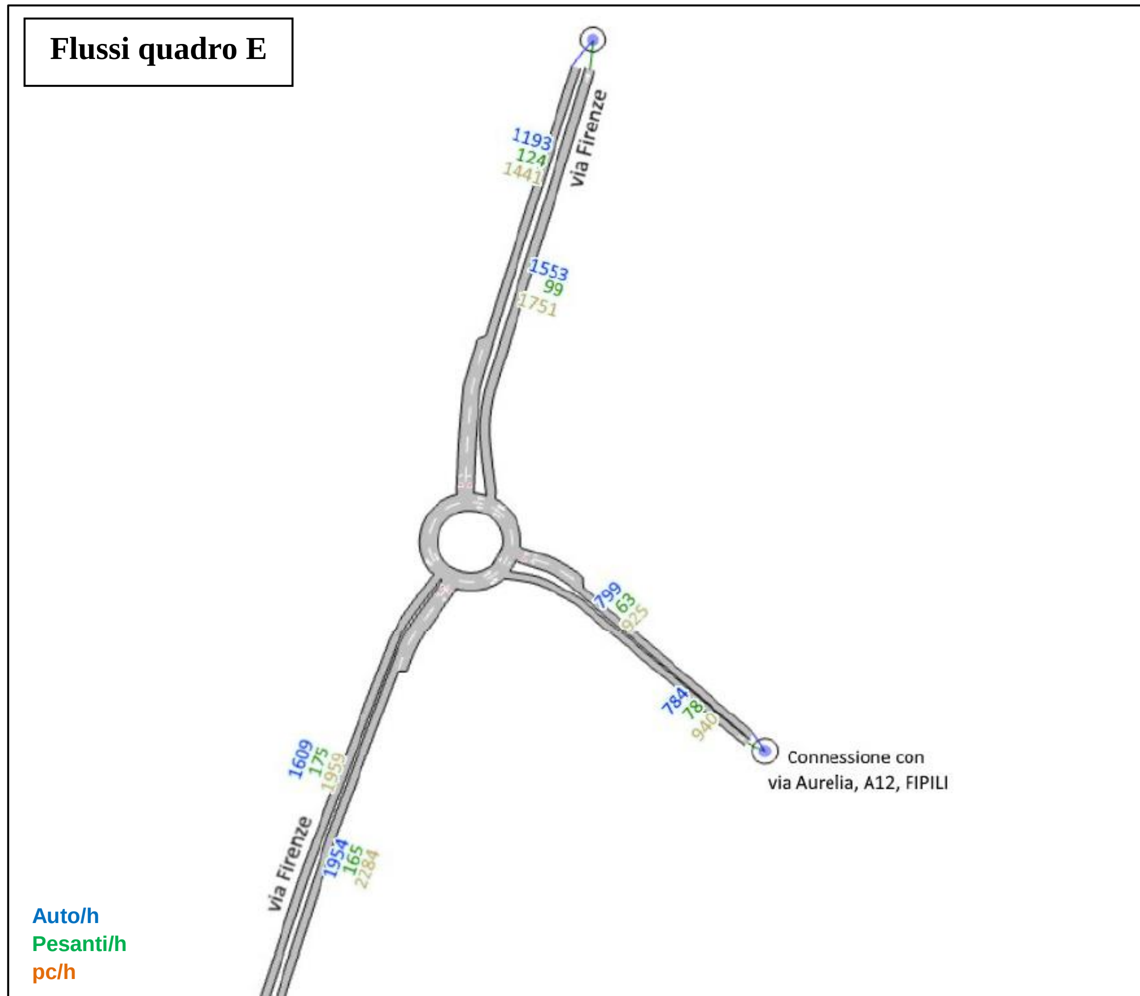



Flussi quadro A
Nuova via per Tirrenia
FIPILI Est
FIPILI Ovest
via da Vinci (porto)
via da Vinci
Nuova via per Livorno
Auto/h
Pesanti/h
pc/h


Auto/h
Pesanti/h
pc/h
FIPILI
nuova via per Tirrenia
nuovo collegamento con via Firenze
via da Vinci
via Enriques
rotatoria di via Orlando
collegamento al nuovo Ponte Genova
Flussi quadro B


Flussi quadro C
nuova via per Tirrenia e FIPILI
Auto/h
Pesanti/h
pc/h
via da Vinci
256 192 640
212 260 722
286 174 633
256 192 640
96 249 594
48 332 712
205 66 336
282 189 660
1514 98 1710
via Firenze
2242 173 2588
via Genova
1066 0 1066
870 0 870
742 98 938
via Enriques
via Orlando
1066 0 1066
377 0 377
493 0 493
742 98 938
136 0 136
1802 173 2148
878 98 1074
via Mattei
via delle Cateratte
via Firenze


nuova via per Tirrenia e FIPILI
684 139 962
571 116 303
1609 175 1959
via Firenze
1038 59 1156
1954 165 2284
719 185 1089
via Enriques
919 200 1319
566 58 682
via Pian di Rota
655 129 913
843 164 1171
1061 70 1201
via Firenze
714 155 1024
205 45 295
856 26 908
1460 85 1630
152 84 320
691 80 851
823 18 859
2047 165 2377
195 8 221
307 57 421
249 41 331
502 65 632
via Nord
1514 98 1710
2242 173 2588
Auto/h
Pesanti/h
pc/h
via Firenze
Flussi quadro D



3.2. Esame dettagliato di alcuni nodi

Nel presente lavoro è stato scelto di esaminare le prestazioni dei due nodi più significativi: il nodo G e il nodo B. A questi è stato applicato il flusso della rete di progetto e sono state valutate le differenze prestazionali nel caso in cui si lasci l'intersezione come è attualmente oppure come è stata ipotizzata nella nuova rete.

3.2.1. Nodo G

Per calcolare le prestazioni del nodo G sono stati utilizzati i flussi ricavati dalla simulazione di Aimsun™ per la nuova rete, ripresi dal quadro C del paragrafo 3.1.4. e riportati in figura 8

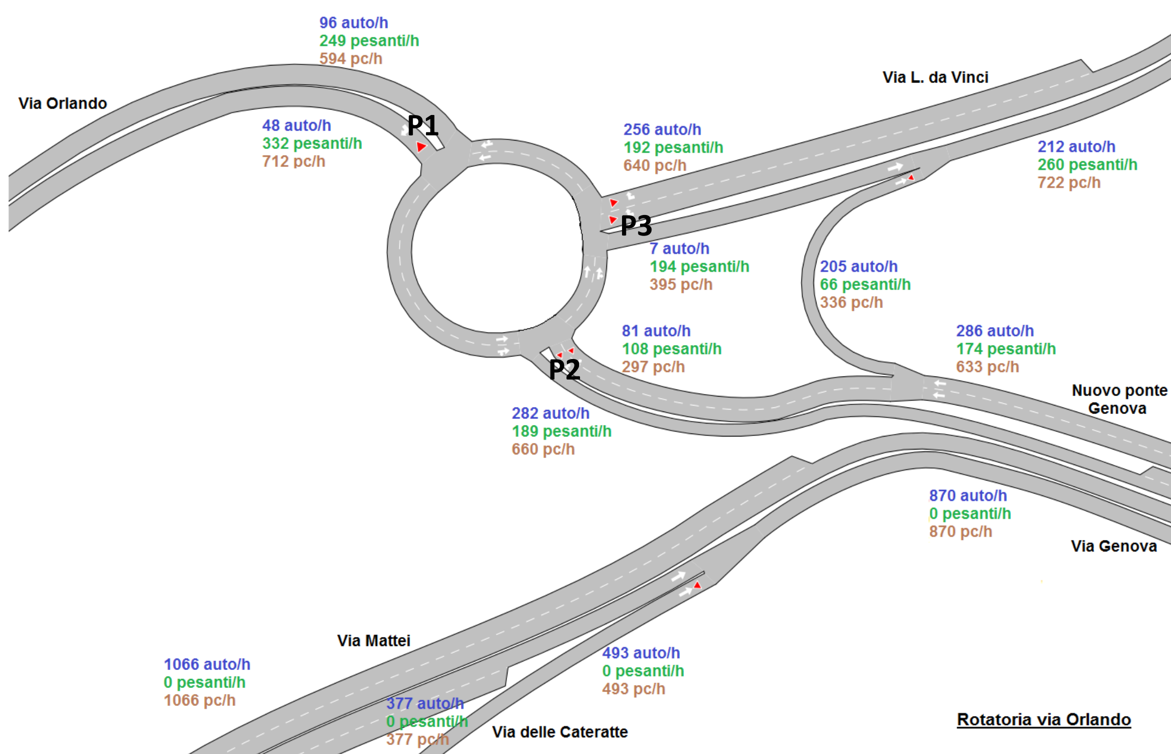


Figura 8: flussi dei veicoli leggeri, pesanti e complessivi del nodo G della rete di progetto

3.2.1.1. Rotatoria attuale

Avendo calcolato il carico dalla simulazione di Aimsun™ usando lo schema della rete di progetto, per poterlo applicare alla rotatoria attualmente in uso, riportata in figura 9, è stato necessario formulare alcune ipotesi:

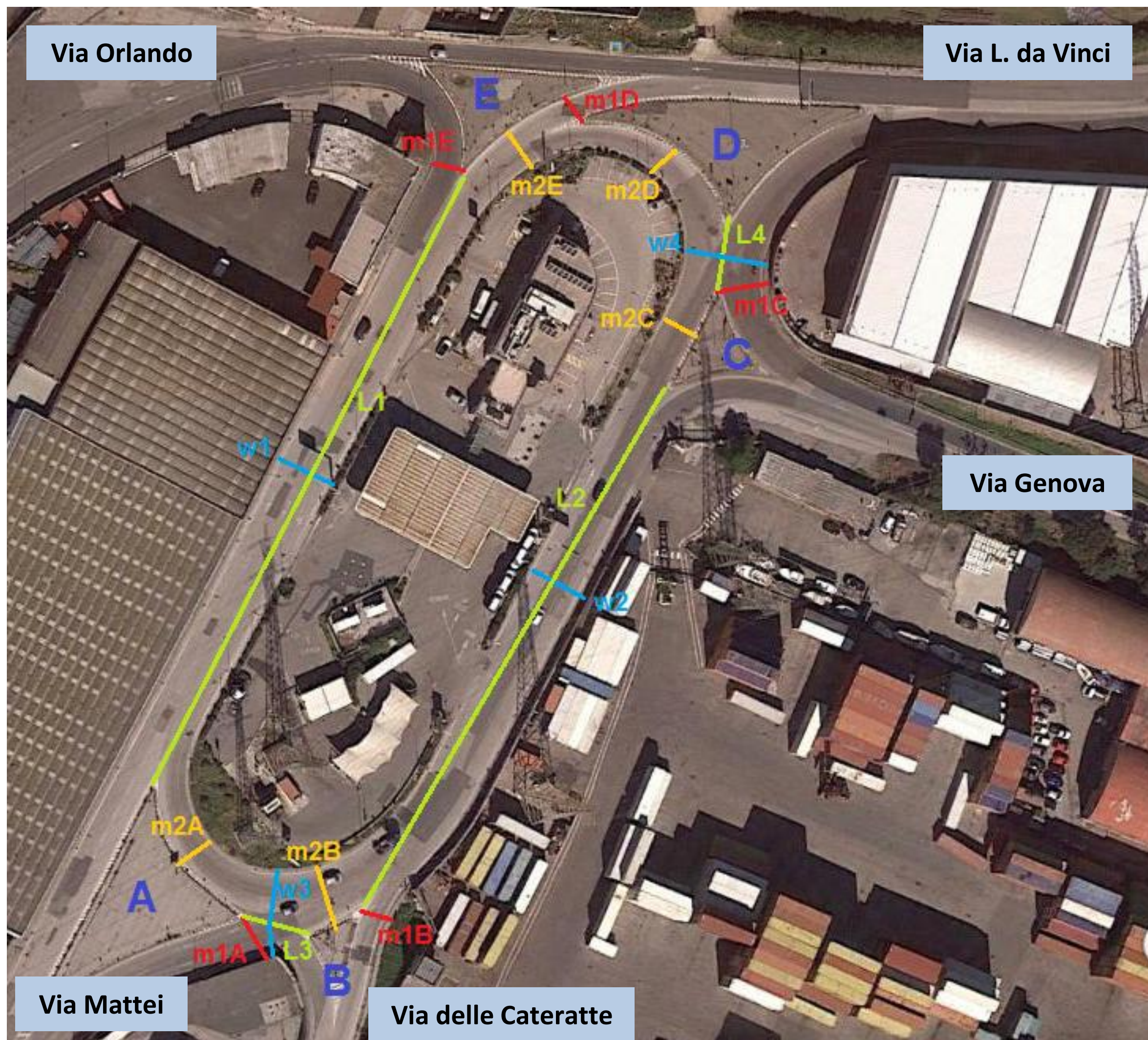


Figura 9: rotatoria attuale del nodo G

- veicoli leggeri

  1. Non essendo la rotatoria attuale provvista di un'uscita per via Orlando il suo flusso uscente è stato sommato a quello uscente di via Mattei, che più a sud è collegata a via Orlando.

2. Poiché la rotatoria attuale non ha un collegamento diretto tra via Mattei, via delle Cateratte e il ponte tutto il loro flusso necessita di passare dall'approccio C. Per cui i flussi entranti e uscenti da via Mattei e via delle Cateratte sono stati aggiunti rispettivamente al flusso uscente e entrante di via Genova.
3. Essendo la rotatoria attuale sprovvista del bypass tra via Genova e via L. da Vinci, il flusso del bypass è stato aggiunto sia al flusso entrante di via Genova che al flusso uscente di via L. da Vinci.

- veicoli pesanti:
  1. Non essendo la rotatoria attuale provvista di un'uscita per via Orlando il suo flusso uscente è stato sommato a quello uscente di via Mattei, che più a sud è collegata a via Orlando.
  2. Essendo la rotatoria attuale sprovvista del bypass tra via Genova e via L. da Vinci, il flusso del bypass è stato aggiunto sia al flusso entrante di via Genova che al flusso uscente di via L. da Vinci.

Con queste considerazioni, dai flussi riportati in figura 8, sono stati ricavati i flussi entranti e uscenti espressi in uvp (1 veicolo leggero = 1 uvp; per uniformare i veicoli pesanti, si è utilizzato 1 veicolo pesante= 2 uvp) della rotatoria attuale che sono riportati nella tabella seguente:

Portate di traffico totali uvp/h			
Ramo		**Entranti**	**Uscenti**
A	Via Mattei	377	1660
B	Via delle Cateratte	493	0
C	Via Genova	1700	1530
D	Via L. da Vinci	640	732
E	Via Orlando	712	0
	TOTALE	**3922**	**3922**

Da questi, come visto nel paragrafo 2.2.4., è stata ricavata la matrice O/D della rotatoria, riportata di seguito:

	A	B	C	D	E	Somma Riga ↓
A	0	0	319	60	0	379
B	127	0	309	58	0	494
C	1161	0	0	530	0	1691
D	188	0	455	0	0	643
E	184	0	446	84	0	714
Somma colonna →	1660	0	1529	732	0	**3922**

3.2.1.1.1. Metodo Inglese

L'attuale rotatoria nel nodo G è stata costruita con il concetto delle rotatorie di 1° generazione, ovvero dare la precedenza ai rami, e adattata a essere una rotatoria di 2° generazione con precedenza all'anello.

Per questo motivo si utilizza, per il calcolo delle prestazioni, il metodo inglese che calcola il valore della massima portata oraria Q_{max} che può essere ospitata in un tratto di scambio e che è funzione della larghezza media all'inizio del tratto di scambio, della lunghezza del tratto e dell'incidenza proporzionale alle correnti di intreccio sul flusso di traffico. Il calcolo segue la formula:

$$Q_{max} = \frac{A \cdot w \cdot \left(1 + \frac{m}{w}\right) \cdot \left(1 - \frac{P}{3}\right)}{\left(1 + \frac{w}{L}\right)} \qquad [uvp/h]$$

con:

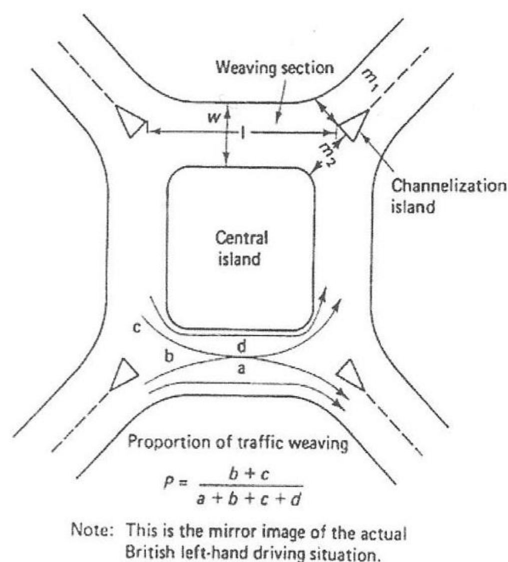
A = costante pari a 354

w = larghezza della sezione stradale nel tratto di intreccio (m)

L = lunghezza del tratto di intreccio (m)

m = $(m_1 + m_2)/2$ larghezza media nella sezione di imbocco del tratto di intreccio (m)

$P = \frac{b+c}{a+b+c+d}$ proporzione delle correnti di scambio rispetto al flusso totale nel tratto di intreccio



Per calcolare i livelli di servizio dei tronchi di scambio si fa riferimento alla seguente tabella:

Q_t/Q_{max}	LoS
≤ 0,20	A
0,20 ÷ 0,50	B
0,50 ÷ 0,70	C
0,70 ÷ 0,85	D
0,85 ÷ 0,99	E
≥ 1	F

con Q_t = a+b+c+d effettiva portata transitante.

3.2.1.1.2 Prestazioni dell'intersezione

Con i valori geometrici ripresi dalla figura 9, la matrice dei flussi ricavata nel paragrafo 3.2.1.1. e con le formule viste nel paragrafo precedente sono stati calcolati i livelli di servizio dei singoli tronchi di scambio e dell'intera intersezione:

Tronco 1 (Via Orlando-Via Mattei)

A	w	L	m1	m2	m	a	b	c	d	P	Qmax	Qt	Qt/Qmax	LOS
354	12,5	143	6,1	9	7,6	184	530	1476	985	0,63	5152,50	3175	0,62	C

Tronco 2 (Via Cateratte-Via Genova)

A	w	L	m1	m2	m	a	b	c	d	P	Qmax	Qt	Qt/Qmax	LOS
354	11,5	128	5,7	12	8,9	309	185	1220	1220	0,48	5554,92	2934	0,53	C

Tronco 3 (Via Mattei-Via Cateratte)

A	w	L	m1	m2	m	a	b	c	d	P	Qmax	Qt	Qt/Qmax	LOS
302	17	14	8,3	7,5	7,9	0	379	0	985	0,28	3081,50	1364	0,44	B

Tronco 4 (Via Genova-Via L. da Vinci)

A	w	L	m1	m2	m	a	b	c	d	P	Qmax	Qt	Qt/Qmax	LOS
302	17,5	16	9	7,5	8,3	530	1161	202	127	0,67	2878,77	2020	0,70	D

LOS dell'intera intersezione	
Qt/Qmax	**LOS**
0,60	C

3.2.1.2. Rotatoria di progetto

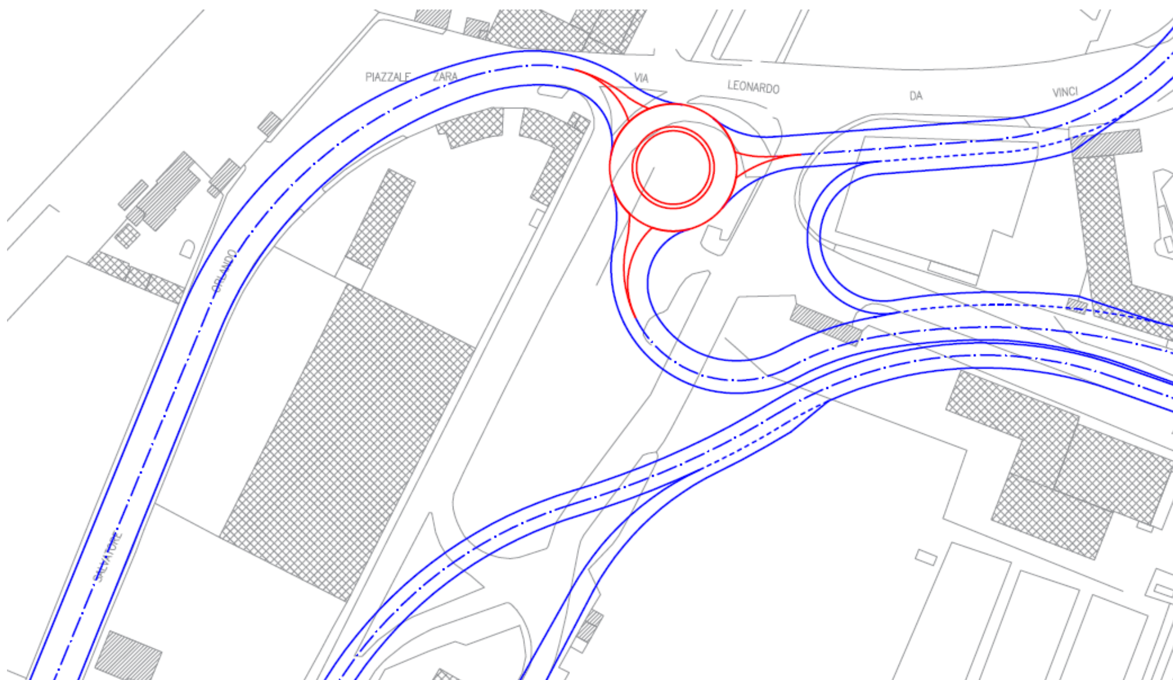


Figura 10: rotatoria di progetto del nodo G

Per calcolare le prestazioni della nuova rotatoria è stato usato il metodo HCM 2016.

3.2.1.2.1. HCM 2016

Nell'Highway Capacity Manual 2016 viene proposto un modello analitico basato sulla teoria dell'accettazione del varco (Gap Acceptance). Dal momento che la rotatoria impone unicamente svolte a destra ai conducenti che dalle entrate si immettono nell'anello, le caratteristiche di accettazione del varco temporale sono assimilabili a quelle che si trovano nelle corsie di svolta a destra nelle intersezioni a priorità non semaforizzate. L'entità del varco è

strettamente dipendente dalla distribuzione degli spazi interveicolari nel flusso principale, nel caso delle rotatorie quello dell'anello.

Due parametri definiscono la gap acceptance:

- t_c, l'intervallo critico. È il varco di tempo minimo perché un veicolo in attesa in un ramo di ingresso possa immettersi nell'anello.
- t_f, il tempo di follow-up. È il tempo necessario affinché un secondo veicolo accodato al primo possa immettersi nella corrente veicolare dell'anello nello stesso varco del primo.

Ne deriva che il tempo minimo necessario a due veicoli accodati per immettersi è dato dalla somma di intervallo critico e tempo di follow up (t_c+t_f). Se i veicoli accodati sono più di due il tempo minimo diviene t_c+Nt_f con N pari al numero di veicoli.
Nei modelli più semplici la distribuzione degli arrivi dei veicoli circolanti nell'anello davanti ad un ramo d'entrata è di tipo normale, e conseguentemente la distribuzione dei varchi nel flusso è di tipo esponenziale. La probabilità che un varco sia minore di un determinato valore t è data dall'equazione:

$$P[T < t] = e^{-\lambda t}$$

in cui

λ = valore medio degli arrivi per il flusso di disturbo [veic/h]
t = dimensione headway [h]

Combinando la formula esposta con t_c e t_f, si arriva alla formula HCM per la stima della capacità di un'entrata (formula per una rotatoria con corsia singola nell'anello).

$$C_e = \frac{Q_c \cdot e^{\left(\frac{-Q_c \cdot t_c}{3600}\right)}}{1 - e^{\left(\frac{-Q_c \cdot t_c}{3600}\right)}}$$

dove:

C_e = capacità dell'approccio [veic/h]

Q_c = flusso circolante [veic/h]

t_c = gap critico [s]

t_f = tempo di follow up [s]

Il modello generale deve essere opportunamente calibrato scegliendo i valori di t_c e di t_f opportuni in base al comportamento degli utenti e alla geometria della rotatoria. Secondo le osservazioni dei ricercatori statunitensi sono stati individuati i valori di massimo e di minimo per l'intervallo critico e il tempo di follow up, valori riportati nella tabella sottostante.

	Massimo (s)	Minimo (s)
Intervallo critico t_c	4.6	4.1
Tempo di follow up t_f	3.1	2.6

Sostituendo i valori nell'Equazione precedente si ottiene il modello semplificato per la capacità di un'entrata per una rotatoria ad una corsia nell'anello:

$$C_e = 1380 \cdot e^{(-1.02 \cdot 10^{-3})Qc}$$

Per rotatorie con due corsie nell'anello vengono proposte le seguenti formule:

-entrata a corsia singola $C_e = 1420 \cdot e^{(-0.85 \cdot 10^{-3})Qc}$

-entrata a corsia doppia $C_{eR} = 1420 \cdot e^{(-0.85 \cdot 10^{-3})Qc}$

$C_{eL} = 1380 \cdot e^{(-0.92 \cdot 10^{-3})Qc}$

Per le corsie di bypass viene proposta le seguente formula:

$$C_{ebypass} = 1420 \cdot e^{(-0.85 \cdot 10^{-3})Q_C}$$

Nel Paragrafo 4 del Capitolo 22 dedicato alle rotatorie del HCM 2016, si introduce la possibilità di poter generalizzare il modello di capacità usando le seguenti formule:

$$C_e = A \cdot e^{-B \cdot Qc}$$

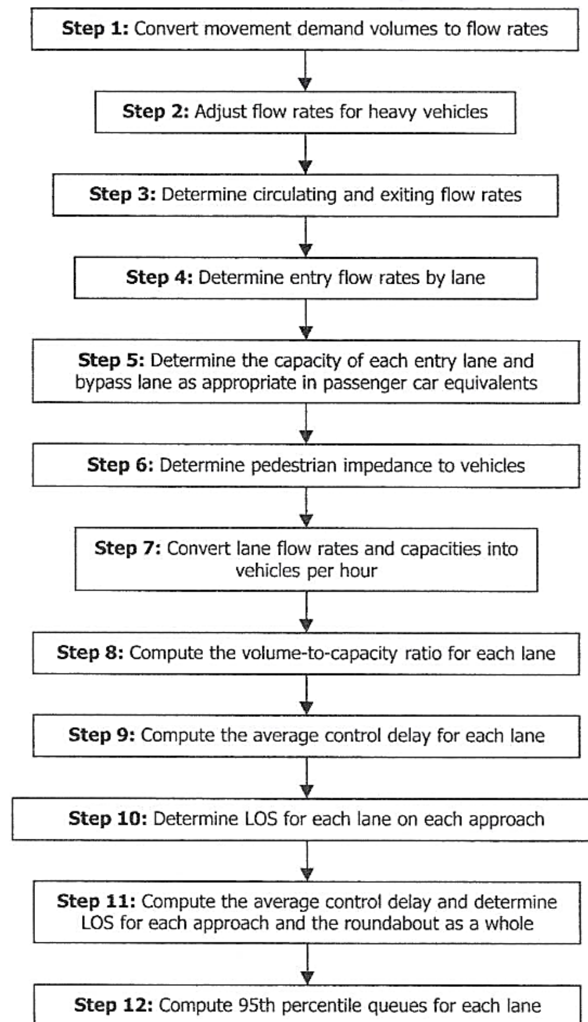
In cui:

$$A = \frac{3600}{t_f} \quad \text{e} \quad B = \frac{t_c - (\frac{t_f}{2})}{3600}$$

Con il modello generalizzato è possibile inserire l’intervallo critico t_c e il tempo di follow up t_f idonei in modo che i risultati ottenuti siano aderenti all’effettivo comportamento degli utenti a livello locale. I valori ottenuti da varie campagne di osservazione a livello locale hanno portato alla determinazione di valori per l’intervallo critico ed il tempo di follow up che si discostano, talvolta in maniera marcata, da quelli determinati dallo studio HCM. I dati ricavati possono essere confrontati nella tabella riportata.

HCM 2010 Capacity Model					
	t_f (s)	**t_c (s)**	**A**	**B**	**C_e (pc/h)**
Single Lane Roundabout					
HCM2010	3,19	5,19	1130	0,00100	1130*exp((-1*10^-3)*Q_c)
NCHRP 572	3,20	5,10	1125	0,000972	1125*exp((-0,972*10^-3)*Q_c)
California	2,50	4,90	1440	0,00101	1440*exp((-1,01*10^-3)*Q_c)
Nord Tuscany	2,64	3,83	1364	0,00070	1364*exp((-0,70*10^-3)*Q_c)
Left Lane Roundabout					
HCM2010	3,19	4,29	1130	0,00075	1130*exp((-0,75*10^-3)*Q_c)
NCHRP 572	3,40	4,50	1059	0,000778	1059*exp((-0,778*10^-3)*Q_c)
California	2,30	4,80	1565	0,001014	1565*exp((-1,014*10^-3)*Q_c)
Nord Tuscany	2,59	3,85	1390	0,00071	1390*exp((-0,71*10^-3)*Q_c)
Right Lane Roundabout					
HCM2010	3,19	4,11	1130	0,0007	1130*exp((-0,7*10^-3)*Q_c)
NCHRP 572	3,10	4,20	1161	0,000736	1161*exp((-0,736*10^-3)*Q_c)
California	2,20	4,40	1636	0,000917	1636*exp((-0,917*10^-3)*Q_c)
Nord Tuscany	2,63	3,64	1369	0,000646	1369*exp((-0,646*10^-3)*Q_c)

Nell'HCM la metodologia usata per il calcolo della capacità di un approccio e la sua valutazione in termini di livello di servizio si articola in dodici fasi, schematicamente riassunte nella figura seguente, e mostra come procedere dalla determinazione dei flussi fino all’inquadramento del livello di servizio di ogni singolo approccio.



Il livello di servizio viene valutato in base al tempo che un veicolo deve attendere prima di potersi immettere nell'anello, secondo gli intervalli riassunti nella figura seguente.

Tempo di attesa (s)	LOS	Colore	Deflusso
0-10	A		Ottimo
> 10-15	B		Discreto
> 15-25	C		Buono
> 25-35	D		Sufficiente
> 35-50	E		Insufficiente
> 50	F		Congestione

Una volta calcolata la capacità con il metodo appropriato per il tipo di rotatoria, per stimare i tempi di attesa e la lunghezza del 95° percentile vengono impiegate le formule proposte dall'HCM. Il modello per la stima del tempo di attesa è stato desunto considerando la rotatoria come un'intersezione a priorità, ipotizzando una distribuzione di Poisson per gli arrivi e una disciplina della coda di tipo FIFO (First In First Out).

Il tempo di attesa su una singola corsia di entrata viene stimato con la seguente equazione:

$$d = \frac{3600}{c} + 900T\left[x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right)x}{450T}}\right] + 5\min[x, 1]$$

In cui:

d = tempo di attesa medio dei veicoli nell'approccio [s/veic]

c = capacità [veic/h]

x = indice di saturazione $\frac{Q_e}{C_e} = \left(\frac{portata\ entrante}{capacit\grave{a}}\right)$ l'HCM prevede, per una rotatoria a due corsie in ingresso, in mancanza

di dati di suddividere il flusso entrante (Qe) in 53% per la corsia di sinistra e 47% per quella destra.

T = periodo di riferimento [h] (T è pari a 1 per analisi di un'ora; 0.25 per analisi di un quarto d'ora)

Una volta stimati i tempi di attesa su entrambe le corsie di un approccio si calcola il tempo di attesa medio dell'approccio stesso eseguendo una media pesata dei tempi delle singole corsie, usando come pesi i flussi entranti.

$$d_{approccio} = \frac{d_{sx} \cdot v_{sx} + d_{dx} \cdot v_{dx} + d_{bypass} v_{bypass}}{v_{sx} + v_{dx} + v_{byapass}}$$

In cui

d_{sx} = tempo di attesa sulla corsia sinistra

d_{dx} = tempo di attesa sulla corsia destra

d_{bypass} = tempo di attesa sul bypass

v_{sx} = flusso entrante sulla corsia sinistra

v_{dx} = flusso entrante sulla corsia destra

v_{bypass} = flusso entrante sul bypass

L'equazione che permette di ricavare il valore del tempo di attesa medio dell'intera rotatoria è una media pesata del tempo di attesa dei vari approcci. I pedici si riferiscono ai rami in ingresso:

$$d_{rotatoria} = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i}$$

Il 95° percentile della coda per una corsia viene stimato attraverso l'equazione:

$$Q_{95} = 900T\left[x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right)x}{150T}}\right] + \left(\frac{c}{3600}\right)$$

In cui:

Q_{95} = 95° percentile della coda [veic]

c = capacità [veic/h]

x = indice di saturazione ($\frac{portata\ entrante}{capacità}$)

T = periodo di riferimento [h] (T è pari a 1 per analisi di un'ora; 0.25 per analisi di un quarto d'ora)

Se si desidera esprimere la lunghezza della coda in metri anziché in veicoli è sufficiente moltiplicare il valore ottenuto per 6 metri (vale a dire la lunghezza media di un veicolo, considerando anche la distanza di rispetto dal veicolo che segue) e si divide per il numero di corsie considerate n:

$$L_{q95} = \frac{Q_{95} \cdot 6}{n} \quad [m]$$

3.2.1.2.2. Prestazione dell'intersezione

Con i flussi di figura 8, come visto nel paragrafo 2.2.4., è stata ricavata la matrice O/D della rotatoria riportata di seguito.

		P1	P2	P3	Somma Riga ↓
	P1	131	244	339	714
	P2	240	0	56	296
	P3	223	416	0	639
Somma colonna	→	594	660	395	**1649**

Con le formule dell'HCM 2016 viste nel paragrafo precedente sono stati calcolati i livelli di servizio dei singoli approcci e dell'intera intersezione:

Approccio 1 via Orlando

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	416	1034,53	378,42	0,37	1	7,31	2	12	7,01	A
Dx	416	1046,39	335,58	0,32	1	6,67	2	12		

Approccio 2 via Genova

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	339	1092,66	156,88	0,14	1	4,56	1	6	5,79	A
Dx	339	1099,75	139,12	0,13	1	4,38	1	6		
Bypass	395	1015,02	336,00	0,33	1	6,95	2	12		

Approccio 3 via L. da Vinci

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	240	1172,23	338,67	0,29	1	5,76	2	12	5,60	A
Dx	240	1172,39	300,33	0,26	1	5,41	2	12		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
6,17	A

3.2.1.3. Confronto tra le prestazioni delle rotatorie

Di seguito si riportano a confronto le prestazioni delle due rotatorie analizzate

Rotatoria Attuale		Nuova rotatoria	
Qt/Qmax	LoS	Tempo di attesa (s)	LoS
0,60	C	6,17	A

Dal risultato si può notare come la rotatoria di progetto abbia un livello di servizio superiore rispetto a quella attuale a parità di flusso.

3.2.2. Nodo B

Per calcolare le prestazioni del nodo G sono stati utilizzati i flussi ricavati dalla simulazione di Aimsun™ della nuova rete, riportati in figura 11.

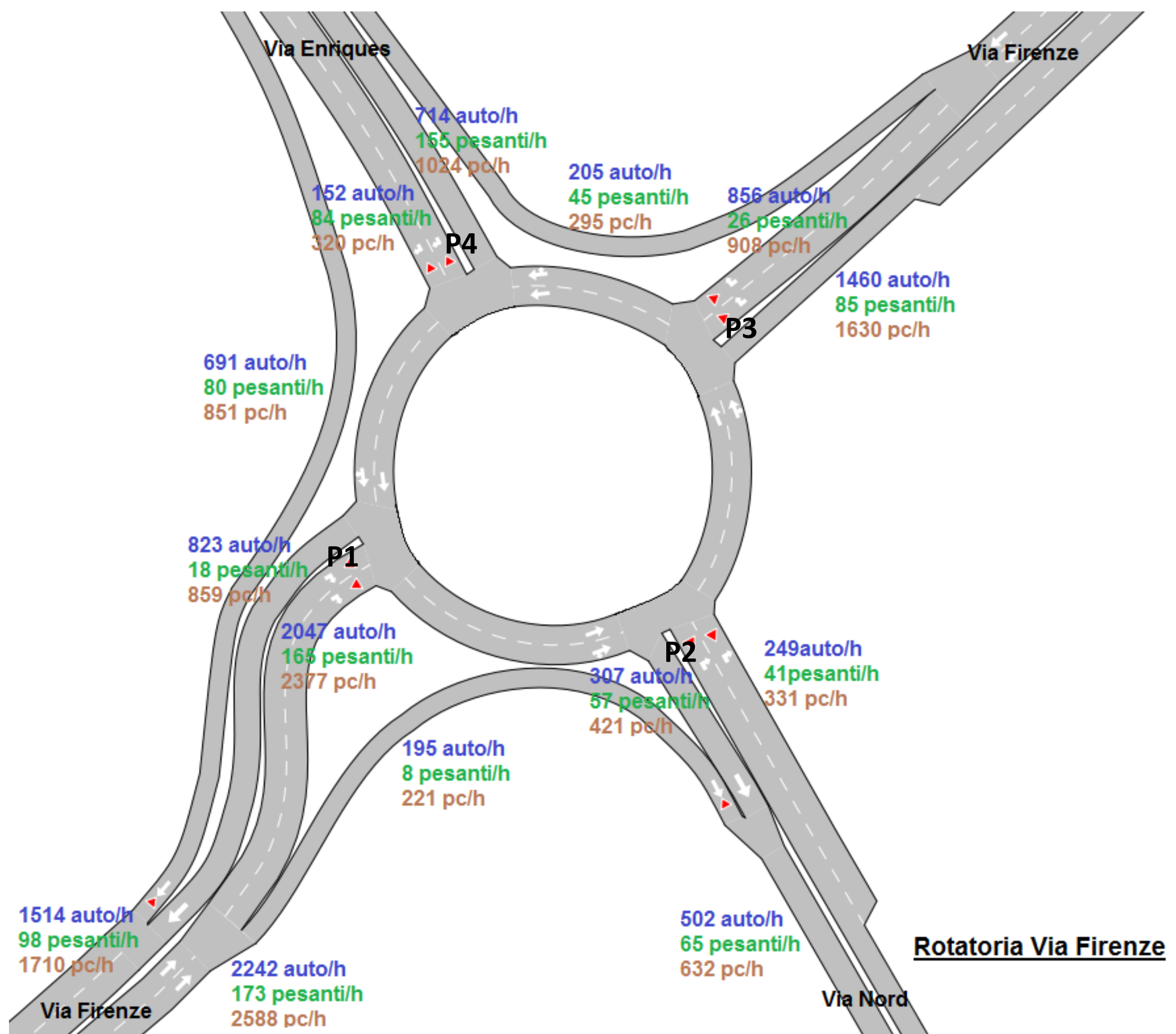


Figura 11: flussi dei veicoli leggeri, pesanti e complessivi del nodo B della rete di progetto

3.2.2.1. Intersezione semaforica

Avendo calcolato il carico dalla simulazione di Aimsun™ usando lo schema della rete di progetto, per poterlo applicare all'intersezione semaforica attualmente in uso, riportata in figura 12, è stato necessario formulare alcune ipotesi:

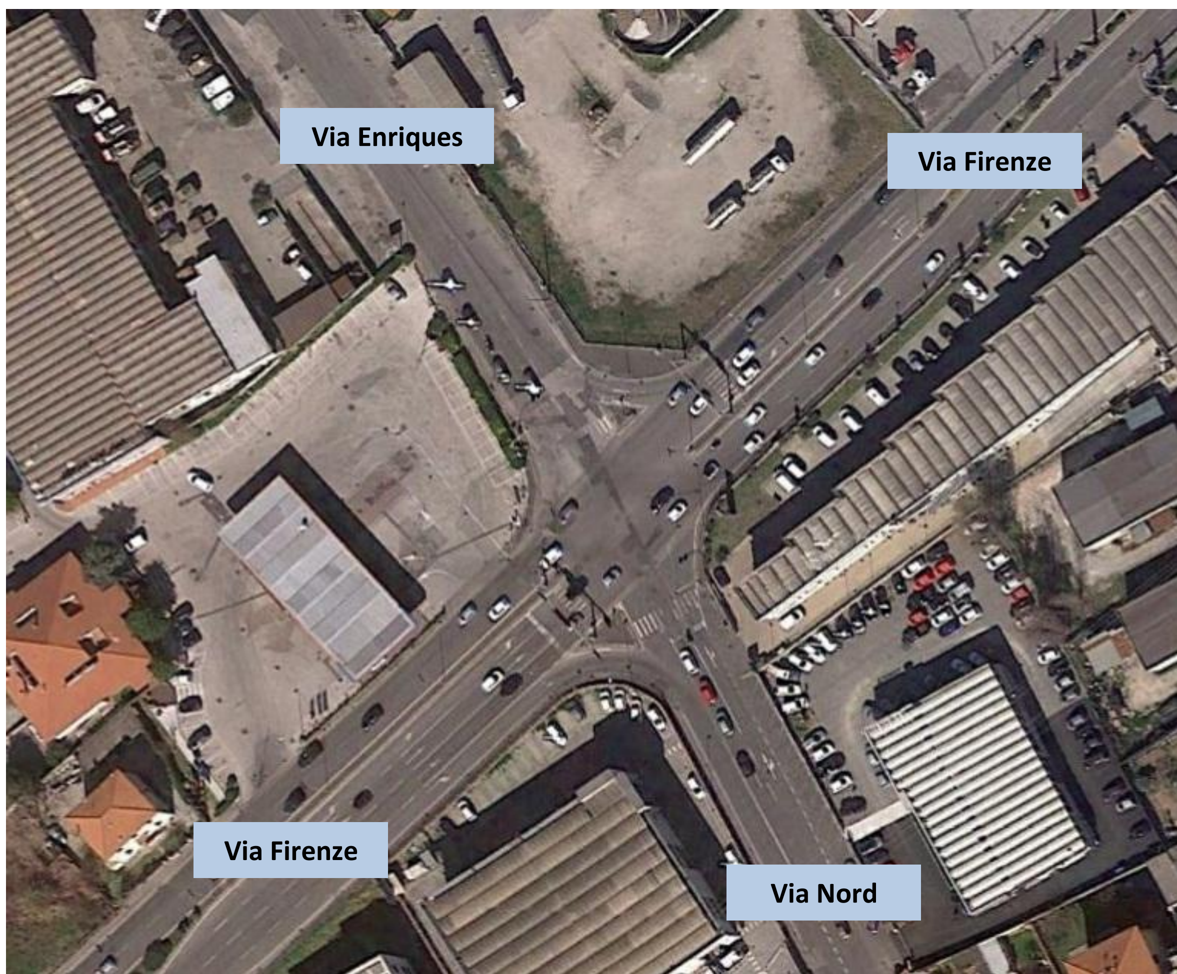


Figura 12: attuale intersezione semaforica del nodo B

- veicoli leggeri
    1. Essendo l'attuale intersezione semaforica sprovvista del bypass tra via Enriques e via Firenze, il flusso del bypass è stato aggiunto sia al flusso entrante di Enriques che al flusso uscente di via Firenze.
    2. Essendo l'attuale intersezione semaforica sprovvista del bypass tra via Firenze e via Enriques, il flusso del bypass è stato aggiunto sia al flusso entrante di via Firenze che al flusso uscente di via Enriques.

- veicoli pesanti:
    1. Essendo l'attuale intersezione semaforica sprovvista del bypass tra via Enriques e via Firenze, il flusso del bypass è stato aggiunto sia al flusso entrante di Enriques che al flusso uscente di via Firenze.
    2. Essendo l'attuale intersezione semaforica sprovvista del bypass tra via Firenze e via Enriques, il flusso del bypass è stato aggiunto sia al flusso entrante di via Firenze che al flusso uscente di via Enriques.

Con queste considerazioni, dai flussi riportati in figura 11, sono stati ricavati i flussi entranti e uscenti espressi in uvp (1 veicolo leggero = 1 uvp; per uniformare i veicoli pesanti, si è utilizzato 1 veicolo pesante= 2 uvp) dell'attuale intersezione semaforica che sono riportati nella tabella seguente.

Portate di traffico totali uvp/h			
Ramo		**Entranti**	**Uscenti**
P1	Via Firenze Ovest	2377	1710
P2	Via Nord	331	421
P3	Via Firenze Est	1203	1632
P4	Via Enriques	1171	1319
	TOTALE	**5082**	**5082**

Da questi, come visto nel paragrafo 2.2.4., è stata ricavata la matrice O/D dell'intersezione semaforica riportata di seguito.

		P1	P2	P3	P4	Somma Riga ↓
	P1	0	0	1313	1049	2362
	P2	205	0	70	57	332
	P3	779	218	0	213	1210
	P4	726	203	248	0	1177
Somma colonna	→	1710	421	1631	1319	**5081**

3.2.2.1.1. HCS+

Per l'intersezione semaforica è stato adottato il software HCS+ che calcola la capacità e i livelli di servizio delle infrastrutture di trasporto come da Manuale HCM.

Per poter usare il programma HCS+ per le intersezioni semaforiche è necessario conoscere:

1. La geometria ed i flussi: i primi sono stati ricavati durante la campagna di rilievo, mentre i secondi sono stati ottenuti dalla matrice nel paragrafo precedente.
2. Il ciclo semaforico e le manovre: Sono stati ricavati durante la campagna di rilievo. A seguito riportiamo un'immagine con i tempi del semaforo e le manovre.

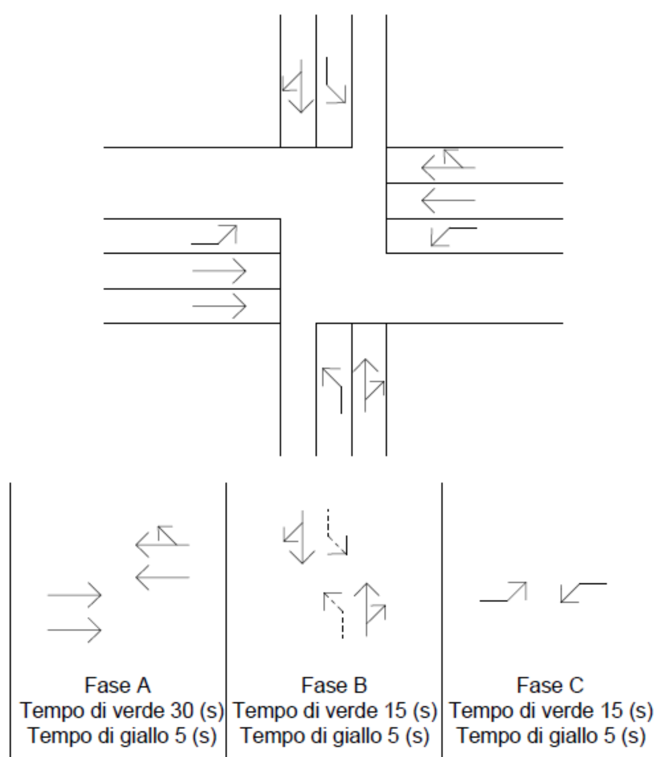


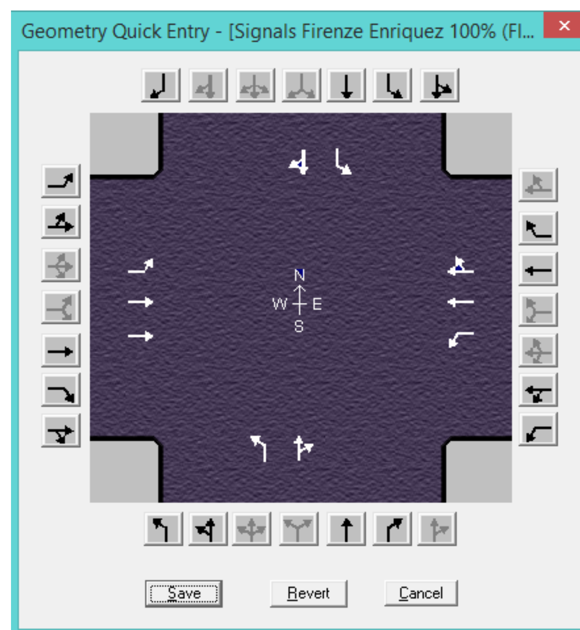
Figura 13: ciclo e manovre del semaforo

I dati vengono inseriti nel programma in apposite celle, di seguito si riportano alcune immagini della procedura:

- Inserimento dei dati personali e dell'intersezione:

Analyst	David Zanobetti	Intersection	Via Firenze - Via Enriquez
Agency/Co	UNIPI	Area Type	☐ CBD or Similar
Date 26/10/2017	Units: U. S. Metric	Jurisdiction	Livorno
Analysis Time Period	AM peak	Analysis Year	2017
Project Description	Tesi di Laurea Magistrale		
East/West Street Name	Via Firenze	North/South Street Name	Via Enriquez

- Inserimento della geometria dell'intersezione



- Inserimento dei flussi per ciascuna corsia

GEOMETRY and VOLUME — Quick Entry

	Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound		
	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right
Number of Lanes and Usage	1	2	0	1	2	0	1	1	0	1	1	0
	Shared	Shared		Shared	Shared		Shared	Shared		Shared	Shared	
	L	T		L	TR		L	TR		L	TR	
Receiving Lanes		2			2			1			1	
Volume (vph), Increment All 10 %	1049	1314	0	218	779	213	205	57	70	248	203	726
Peak Hour Factor, PHF, All 0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Peak-15 Minute Volume (v)	263	329	0	55	195	54	52	15	18	62	51	182

Duration 0.25 hours

- Inserimento delle fasi semaforiche e dei tempi di verde e di giallo

PHASING DESIGN

PRESET PHASING

EW Select New Preset

NS Select New Preset

Select Actuation Type

	E/W 1	E/W 2	E/W 3	E/W 4
G	15.0	30.0	0.0	0.0
Y	5.0	5.0	0.0	0.0
R	0.0	0.0	0.0	0.0

	N/S 1	N/S 2	N/S 3	N/S 4
G	15.0	0.0	0.0	0.0
Y	5.0	0.0	0.0	0.0
R	0.0	0.0	0.0	0.0

Cycle Length 75.0

Estimation/Optimization

Una volta inseriti i dati è possibile stampare un report nel quale si trovano vari valori tra cui: la capacità delle corsie (C), l'indice di saturazione (x) ed inoltre il tempo di attesa (sec) e il livello di servizio per ogni corsia, per ogni approccio e per l'intera intersezione.

L'immagine seguente mostra la parte del report che fornisce i dati ricavati:

Intersection Performance Summary

Appr/ Lane Grp	Lane Group Capacity	Adj Sat Flow Rate (s)	Ratios v/c	Ratios g/C	Lane Group Delay	Lane Group LOS	Approach Delay	Approach LOS
Eastbound								
L	357	1785	2.94	0.20	909.8	F		
T	1431	3577	0.92	0.40	32.2	C	421.8	F
Westbound								
L	357	1785	0.61	0.20	34.9	C		
TR	1385	3462	0.72	0.40	22.1	C	24.4	C
Northbound								
L	100	501	2.05	0.20	535.4	F		
TR	345	1724	0.37	0.20	28.9	C	341.6	F
Southbound								
L	254	1269	0.98	0.20	80.6	F		
TR	332	1659	2.80	0.20	847.5	F	685.9	F

Intersection Delay = 383.1 (sec/veh)   Intersection LOS = F

HCS+: Signalized Intersections Release 5.1

3.2.2.1.2. Prestazioni dell'intersezione

Inseriti i flussi ricavati dalla matrice del paragrafo 3.2.2.1., i valori geometrici, il ciclo semaforico e le manovre mostrati in figura 13 nel programma HCS+ sono stati calcolati i livelli di servizio di cui riportiamo in seguito delle tabelle riassuntive.

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	1049	357	2,94	909,80	421,96	F
Thru (2 corsie)	1313	1431	0,92	32,20		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	205	100	2,05	535,40	341,65	F
Thru/Right	127	345	0,37	28,90		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	218	357	0,61	34,90	24,41	C
Thru/Right (2 corsie)	992	1385	0,72	22,10		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	248	254	0,98	80,60	685,91	F
Thru/Right	929	332	2,80	847,50		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
383,18	F

Dai risultati precedenti si vede come l'intersezione risulti congestionata. Per valutarne il funzionamento sono state applicate varie condizioni di flusso, il 90%, l'80% e il 70% del totale. Di seguito si riportano le tabelle riassuntive dei vari casi di carico:

- Caso con il flusso pari al 90% del totale

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	944	357	2,64	777,90	359,76	F
Thru (2 corsie)	1182	1431	0,83	25,70		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	185	100	1,85	448,30	287,64	F
Thru/Right	114	345	0,33	28,30		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	196	357	0,55	32,90	24,54	C
Thru/Right (2 corsie)	893	1385	0,64	22,70		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	223	257	0,87	59,40	582,39	F
Thru/Right	836	332	2,52	722,00		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
326,79	F

- Caso con il flusso pari al 80% del totale

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	839	357	2,35	646,20	299,49	F
Thru (2 corsie)	1050	1431	0,73	22,50		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	164	100	1,64	358,40	231,90	F
Thru/Right	102	345	0,29	27,70		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	174	357	0,49	31,30	21,38	C
Thru/Right (2 corsie)	794	1385	0,57	19,20		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	198	260	0,76	47,10	480,90	F
Thru/Right	743	332	2,24	596,70		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
270,87	F

- Caso con il flusso pari al 70% del totale

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	734	357	2,06	514,80	239,97	F
Thru (2 corsie)	919	1431	0,64	20,40		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	144	100	1,44	275,50	180,48	F
Thru/Right	88,9	345	0,26	27,10		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	153	357	0,43	30,00	20,33	C
Thru/Right (2 corsie)	694	1385	0,50	18,20		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	V	C	x	Delay (sec)	Delay approccio (s)	LOS approccio
Left	174	263	0,66	40,00	380,82	F
Thru/Right	650	332	1,96	471,80		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
216,40	F

3.2.2.2. Rotatoria di progetto

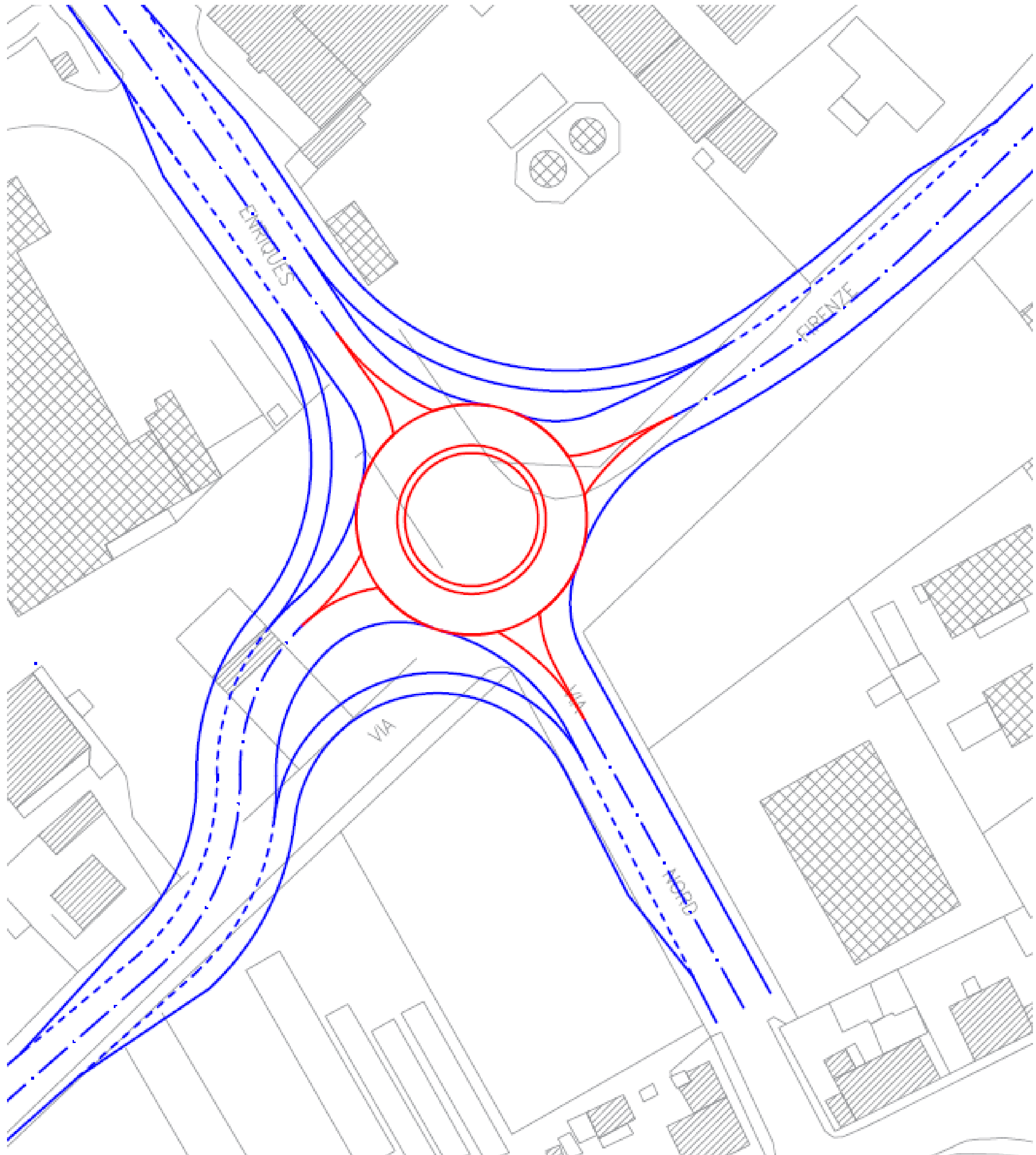


Figura 14: rotatoria di progetto del nodo B

Per calcolare le prestazioni della nuova rotatoria è stato usato il metodo HCM 2016 visto nel paragrafo 3.2.1.2.1.

3.2.2.2.1 Prestazioni dell'intersezione

Con i flussi di figura 11, come visto nel paragrafo 2.2.4., è stata ricavata la matrice O/D della rotatoria riportata di seguito.

		P1	P2	P3	P4	Somma Riga ↓
	P1	0	37	1385	955	2377
	P2	174	0	93	64	331
	P3	639	260	0	9	908
	P4	39	122	159	0	320
Somma colonna	→	852	419	1637	1028	**3936**

Con le formule dell'HCM 2016 sono stati calcolati i livelli di servizio dei singoli approcci e dell'intera intersezione:

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	**Vc**	**Ce**	**Qe**	**x**	**T**	**Delay (sec)**	**Q_{95}**	**L_{95}**	**Delay approccio (s)**	**LOS approccio**
Sx	541	946,67	1259,81	1,33	1	619,14	168	1008	473,13	F
Dx	541	965,21	1117,19	1,16	1	317,33	94	564		
Bypass	852	688,29	851	1,24	1	461,53	95	570		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	**Vc**	**Ce**	**Qe**	**x**	**T**	**Delay (sec)**	**Q_{95}**	**L_{95}**	**Delay approccio (s)**	**LOS approccio**
Sx	2499	235,75	175,43	0,74	1	59,79	8	48	30,69	D
Dx	2499	272,46	155,57	0,57	1	33,27	4	24		
Bypass	419	994,52	221	0,22	1	5,76	1	6		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	1193	595,87	481,24	0,81	1	33,82	11	66	24,39	C
Dx	1193	633,44	426,76	0,67	1	20,56	6	36		
Bypass	1028	592,65	295	0,50	1	14,54	3	18		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	1073	648,87	169,6	0,26	1	8,82	2	12	8,36	A
Dx	1073	684,49	150,4	0,22	1	7,84	1	6		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
308,82	F

Dai risultati precedenti si vede come la rotatoria risulti congestionata. Per valutarne il funzionamento sono state applicate varie condizioni di flusso, il 90%, l'80% e il 70% del totale. Di seguito si riportano le tabelle riassuntive dei vari casi di carico:

- Caso con il flusso pari al 90% del totale

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	487	983,74	1133,83	1,15	1	308,60	93,3	560	190,62	F
Dx	487	999,54	1005,47	1,01	1	94,87	40,3	242		
Bypass	767	739,99	765,9	1,04	1	141,67	41	246		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	2249	281,52	157,887	0,56	1	31,60	3,62	21,7	18,39	C
Dx	2249	320,19	140,013	0,44	1	22,09	2,27	13,6		
Bypass	377	1030,58	198,9	0,19	1	5,29	0,72	4,3		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	1074	648,55	433,116	0,67	1	19,85	5,73	34,4	15,99	C
Dx	1074	684,18	384,084	0,56	1	14,75	3,75	22,5		
Bypass	925	646,77	265,5	0,41	1	11,48	2,07	12,4		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	966	700,23	152,64	0,22	1	7,66	0,83	5	7,32	A
Dx	966	733,62	135,36	0,18	1	6,94	0,68	4,06		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
126,52	F

- Caso con il flusso pari al 80% del totale

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	433	1022,26	1007,85	0,99	1	75,83	35,4	213	48,11	E
Dx	433	1035,09	893,752	0,86	1	28,11	15,5	93,3		
Bypass	682	795,56	680,8	0,86	1	33,33	14,3	85,5		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	1999	336,17	140,344	0,42	1	20,42	2,1	12,6	12,93	B
Dx	1999	376,29	124,456	0,33	1	15,93	1,47	8,79		
Bypass	335	1067,95	176,8	0,17	1	4,87	0,59	3,57		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	954	705,87	384,992	0,55	1	13,90	3,52	21,1	11,87	B
Dx	954	739,00	341,408	0,46	1	11,35	2,54	15,3		
Bypass	822	705,83	236	0,33	1	9,33	1,5	8,98		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	858	755,66	135,68	0,18	1	6,70	0,66	3,93	6,45	A
Dx	858	786,28	120,32	0,15	1	6,17	0,54	3,25		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
34,62	D

- Caso con il flusso pari al 70% del totale

Approccio 1 via Firenze Ovest (Estbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	379	1062,29	881,867	0,83	1	23,29	12,8	77	19,13	C
Dx	379	1071,91	782,033	0,73	1	15,90	7,69	46,1		
Bypass	596	855,32	595,7	0,70	1	17,18	6,55	39,3		

Approccio 2 via Nord (Northbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	1749	401,44	122,801	0,31	1	14,44	1,31	7,86	9,77	A
Dx	1749	442,21	108,899	0,25	1	12,03	0,97	5,85		
Bypass	293	1106,67	154,7	0,14	1	4,48	0,49	2,92		

Approccio 3 via Firenze Est (Westbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	835	768,27	336,868	0,44	1	10,52	2,32	13,9	9,32	A
Dx	835	798,20	298,732	0,37	1	9,07	1,78	10,7		
Bypass	720	770,28	206,5	0,27	1	7,72	1,09	6,57		

Approccio 4 via Enriques (Southbound)

Corsia	Vc	Ce	Qe	x	T	Delay (sec)	Q_{95}	L_{95}	Delay approccio (s)	LOS approccio
Sx	751	815,48	118,72	0,15	1	5,89	0,51	3,06	5,71	A
Dx	751	842,71	105,28	0,12	1	5,51	0,43	2,57		

Tempo di attesa nell'intersezione (s)	LOS Intersezione
15,35	C

3.2.2.3. Confronto tra l'intersezione semaforica e la rotatoria

Di seguito si riportano a confronto le prestazioni globali e di ogni singolo approccio dell'intersezione semaforica e della rotatoria analizzate:

Confronto tra i singoli approcci del semaforo e della rotatoria

% Flusso	Intersezione	W (Estbound)		S (Northbound)		E (Westbound)		N (Southbound)	
		Delay (s)	LoS	Delay (s)	LoS	Delay (s)	LoS	Delay (s)	LoS
100%	Semaforo	421,96	F	341,65	F	24,41	C	685,91	F
	Rotatoria	473,13	F	30,69	D	24,39	C	8,36	A
90%	Semaforo	359,76	F	287,64	F	24,54	C	582,39	F
	Rotatoria	190,62	F	18,39	C	15,99	C	7,32	A
80%	Semaforo	299,49	F	231,90	F	21,38	C	480,90	F
	Rotatoria	48,11	E	12,93	B	11,87	B	6,45	A
70%	Semaforo	239,97	F	180,48	F	20,33	C	380,82	F
	Rotatoria	19,13	C	9,77	A	9,32	A	5,71	A

Confronto tra l'intersezione semaforica e la rotatoria

% Flusso	Semaforo		Rotatoria	
	Delay (s)	LoS	Delay (s)	LoS
100%	383,18	F	308,82	F
90%	326,79	F	126,52	F
80%	270,87	F	34,62	D
70%	216,40	F	15,35	C

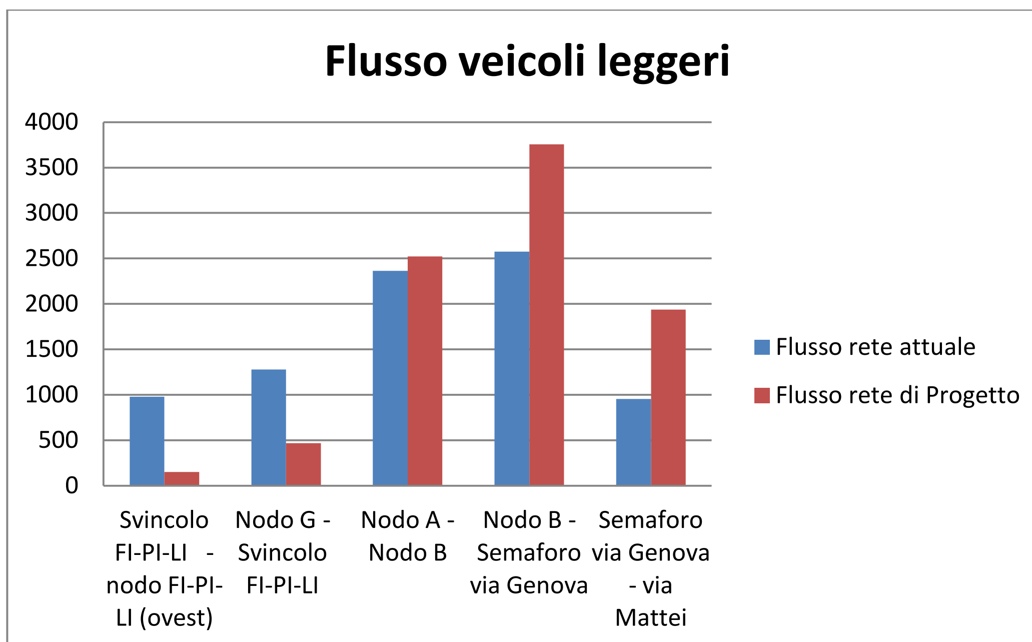
Dai risultati si può notare come la nuova rotatoria riesca a far defluire in modo migliore il traffico, infatti già con una riduzione del 20% del traffico totale ha un deflusso sufficiente. Mentre l'intersezione semaforica risulta sempre pesantemente congestionata anche con una riduzione del flusso pari al 30% del totale.

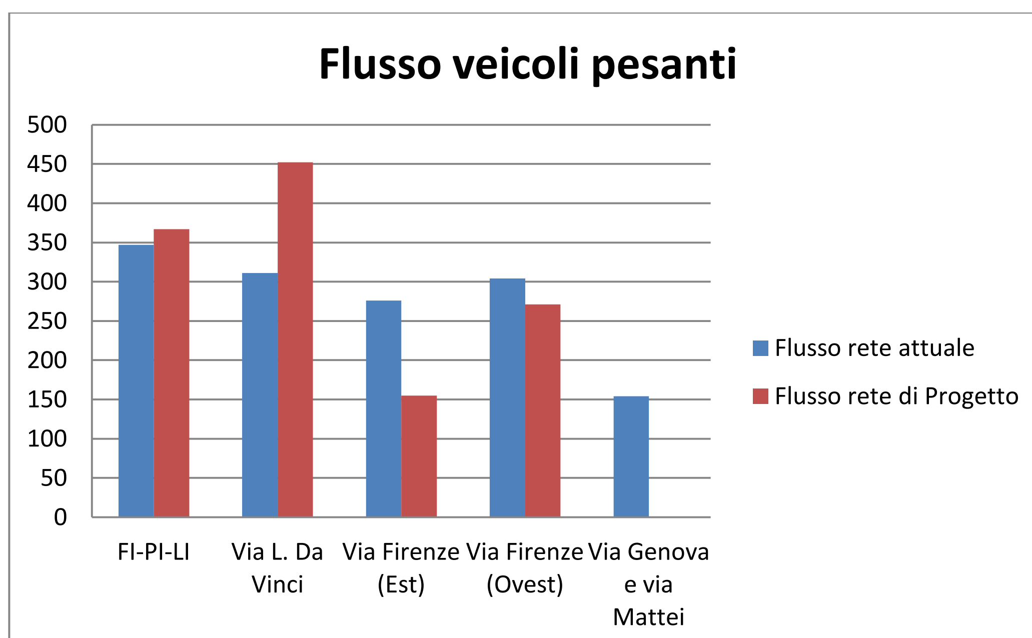
4. Conclusioni

Il quadro dell'attuale rete infrastrutturale della zona Nord-Ovest del porto di Livorno, ci restituisce una commistione tra il traffico urbano e il traffico industriale, come è stato possibile constatare dai rilievi e dalla simulazione effettuata sulla rete attuale.

La simulazione sulla rete di progetto ha portato ad uno scenario di flusso diverso da quello della rete attuale, con una differente distribuzione del traffico industriale e del traffico urbano sugli archi della rete. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva e gli istogrammi che mettono a confronto i flussi dei veicoli leggeri e pesanti degli archi della rete comuni tra i due scenari:

	Arco	**Tipologia veicoli**	**Flusso**		**Variazione di flusso della rete di progetto rispetto alla rete attuale**
			Rete Attuale	**Rete di Progetto**	
FI-PI-LI	Svincolo FI-PI-LI - nodo FI-PI-LI (ovest)	Leggeri	978	151	-84,56%
		Pesanti	347	367	5,76%
Via L. Da Vinci	Nodo G - Svincolo FI-PI-LI	Leggeri	1279	468	-63,41%
		Pesanti	311	452	45,34%
Via Firenze (Est)	Nodo A - Nodo B	Leggeri	2362	2521	6,73%
		Pesanti	276	155	-43,84%
Via Firenze (Ovest)	Nodo B - Semaforo via Genova	Leggeri	2574	3756	45,92%
		Pesanti	304	271	-10,86%
Via Genova e via Mattei	Semaforo via Genova - via Mattei	Leggeri	952	1936	103,36%
		Pesanti	154	0	-100,00%


Flusso veicoli leggeri
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Svincolo FI-PI-LI - nodo FI-PI-LI (ovest)
Nodo G - Svincolo FI-PI-LI
Nodo A - Nodo B
Nodo B - Semaforo via Genova
Semaforo via Genova - via Mattei
Flusso rete attuale
Flusso rete di Progetto


Flusso veicoli pesanti
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
FI-PI-LI
Via L. Da Vinci
Via Firenze (Est)
Via Firenze (Ovest)
Via Genova e via Mattei
Flusso rete attuale
Flusso rete di Progetto

Come si può notare dai risultati della tabella e dai grafici precedenti il flusso dei veicoli leggeri è diminuito sia in via L. da Vinci (-63,41%), sia nella parte terminale della FI-PI-LI (-84,56%), mentre il flusso dei veicoli pesanti è diminuito in Via Firenze (-43,84% e -10,86%), via Genova e via Mattei (-100%).

I risultati ottenuti mettono in evidenza che via L. da Vinci diventa principalmente viabilità industriale infatti la maggior parte del traffico urbano si è spostato soprattutto in via Firenze e in via Enriques trasferendo il limite portuale da via L. da Vinci a via Enriques. Inoltre grazie al nuovo arco tra il nodo G e il nodo H si va a valorizzare la zona tra via L. da Vinci e via Enriques.

Quindi gli obbiettivi prefissati per la rete di progetto esposti nel paragrafo 3.1 sono stati confermati dai risultati ottenuti dalla simulazione.

5. Bibliografia

1. D. Lgs. 285/1992 e ss.mm.ii., ***Nuovo Codice della Strada***
2. D. M. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 1699 del 19/4/2006, ***Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali***
3. Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade, CNR, 10/09/2001 ***Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali***
4. D.M. 05/ novembre 2001 ***Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade*** Gazzetta Ufficiale . 3 del 04 gennaio 2002
5. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Decreto 22 aprile 2004. ***Modifiche del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade"***. Gazzetta Ufficiale . 147 del 25 giugno 2004.
6. Transportation Research Board**. *Highway Capacity Manua l- 6th edition. 2016***
7. Gazzarri A., Martello M. T., Pratelli A., Souleyrette R. R. ***Estimation of gap acceptance parameters for HCM 2010 for roundabout capacity model applications***. Urban Transport XVIII, WIT Transactions on The Built Environment. 2012. Vol. 128.
8. Sechi P. - ***Progettazione dell'adeguamento viario di una grande rotatoria con un metodo di analisi combinata statico/dinamica e di sicurezza surrogata***. tesi di laurea magistrale. 2015 - 2016.
9. Transport Simulation System**. *Aimsun 6 User Manual.***

Sitografia

www.Aimsun.com
http://google.it
https://etd.adm.unipi.it
http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html

6. Ringraziamenti

Innanzitutto desidero ringraziare i miei relatori: il Prof. Ing. Antonio Pratelli per avermi seguito e guidato nella stesura di questa tesi e il Prof. Ing. Marino Lupi che è stato sempre disponibile.

Un ringraziamento va al Prof. Ing. Mario Tempestini, per la disponibilità e il supporto offerto.

Un grazie a Carlo Alberto Masi e Francesca Mannucci che hanno contribuito al rilievo dei dati nella prima fase di questa tesi.

Più di un grazie spetta a Paolo Sechi che con la sua disponibilità mi ha aiutato a districarmi nel complesso mondo del software Aimsun.

Un grazie alla mia famiglia per l'incoraggiamento e il costante sostegno.